

202

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUIMICA

TECNOLOGIAS LIMPIAS PARA EL  
RECICLADO DE PAPEL

TRABAJO MONOGRAFICO DE  
ACTUALIZACION  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERA QUIMICA  
PRESENTA:  
BARBARA SCHULZ LEON



MEXICO, D. F.

2001



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN



**Jurado asignado**

<b>Presidente</b>	<b>Eduardo Rojo y de Regil</b>
<b>Vocal</b>	<b>José Antonio Ortiz Ramírez</b>
<b>Secretario</b>	<b>Rodolfo Torres Barrera</b>
<b>1er. Suplente</b>	<b>José Alejandro Rafael Vega Sánchez</b>
<b>2º. Suplente</b>	<b>Alfonso Durán Moreno</b>

**Sitio donde se desarrolló el tema: Biblioteca Facultad de Química UNAM (C.U.)**

**Asesor del Tema**

**Ing. José Antonio Ortiz Ramírez**

**Sustentante**

*Barbara Schulz L.*  
**Bárbara Schulz León**



---

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres **Dr. Andrés Schulz Robles** y **Enf. Margarita León Montes**, con todo el amor del mundo, por ser unos seres humanos extraordinarios y padres inigualables,

A mi hermano **Andrés M. Schulz León**, por estar junto a mí,

A mis **abuelos** por enseñarme tantas cosas,

A toda la **familia León**,

A toda la **familia Schulz**,

A **Fernando, Oscar** y **Rodrigo** por ser los mejores “hermanos” del mundo

A **César** por su infinita paciencia y amor.....

Al resto de mis **amigos** y aquellas **personas tan especiales** que han continuado cerca de mí hasta el día de hoy...ustedes ya bien saben quienes son!



## **CONTENIDO**

<b>1. INTRODUCCION</b>	<b>2</b>
<b>2. ANTECEDENTES Y EVOLUCION HISTORICA</b>	<b>6</b>
<b>2.1 PRODUCCION LIMPIA</b>	<b>9</b>
<b>2.2 ECO-EFICIENCIA Y DESARROLLO SUSTENTABLE</b>	<b>12</b>
<b>2.3 PAPEL Y RECICLAJE</b>	<b>14</b>
<b>2.4 TECNOLOGIAS LIMPIAS</b>	<b>16</b>
<b>3. RESIDUOS SOLIDOS DOMESTICOS: EL PAPEL Y LA CONTAMINACION</b>	<b>19</b>
<b>3.1 FUNDAMENTOS</b>	<b>19</b>
<b>3.2 MANEJO Y TRATAMIENTO</b>	<b>23</b>
<b>4. RECICLAJE</b>	<b>25</b>
<b>4.1 GENERALIDADES</b>	<b>27</b>
<b>4.2 PAPEL RECICLADO</b>	<b>31</b>
<b>4.3 PROCESO DE MANUFACTURA</b>	<b>28</b>
<b>4.4 ASPECTOS ADMINISTRATIVOS Y ECO-EFICIENCIA</b>	<b>47</b>
<b>5. PRODUCCION Y TECNOLOGIAS LIMPIAS</b>	<b>59</b>
<b>5.1 PRODUCCION LIMPIA EN LA INDUSTRIA DE LA PULPA Y EL PAPEL</b>	<b>64</b>
<b>5.2 TECNOLOGIAS LIMPIAS</b>	<b>66</b>
<b>5.3 TECNOLOGIAS PARA EL RECICLADO DE PAPEL</b>	<b>69</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>75</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>78</b>



## 1. INTRODUCCION

En todas las sociedades es necesario impulsar el desarrollo de los sectores industriales, sin embargo, hoy en día resulta obligado promoverlo bajo condiciones que resulten ecológicas para el entorno, es decir, se busca conseguir un desarrollo sustentable. El ambiente ha sido seriamente afectado (en ocasiones en forma irreversible), por la industrialización desmedida, las políticas económicas, el consumismo y las formas de producción mal implementadas.

Actualmente es indudable la preocupación ambiental por parte de la sociedad y sus sectores industriales, por lo que se han tomado medidas para combatir la problemática. La incorporación de los criterios ambientales a las actividades industriales ha sido notoria e incluso, los principios para el crecimiento y supervivencia de una empresa han comenzado a centrarse alrededor de sus iniciativas y estrategias de protección al ambiente. Se ha visto que al integrar una actitud ambientalista en la gestión empresarial es posible conseguir grandes ventajas en la calidad de los productos y beneficios para la sociedad, lo que se ve reflejado en la optimización de la administración de las empresas.

La gran industrialización de las sociedades ha traído consigo no sólo crecimiento y desarrollo de las sociedades, también ha provocado impactos negativos como la aparición de agentes contaminantes, dañando el ambiente.



Entre los principales impactos ambientales que se han manifestado como consecuencia de la conducta de las sociedades se encuentra la generación de residuos sólidos. Esta clase de residuos son generados tanto por el sector industrial como por el doméstico y su almacenamiento y manejo representa un gran problema.

Se han planteado diversas formas para el tratamiento de esta clase de residuos, entre los que figura el reciclaje de materiales.

Para algunos sectores industriales ha llamado la atención que a través del reciclado se contribuya al mejoramiento del ambiente ya que se controla la generación de los residuos sólidos, las descargas de agentes contaminantes, y proporciona un mayor aprovechamiento de recursos materiales y económicos para las empresas.

El reciclado de materiales se está convirtiendo en una actividad común dentro de las industrias, tal es el caso de la industria de la pulpa y el papel, de plásticos y metalúrgica.

A pesar de los resultados para combatir y controlar la contaminación, el tratamiento de residuos no siempre es lo más conveniente y efectivo, por lo que es necesario recurrir entonces a otras soluciones, de entre las cuales sobresale la implementación de recursos tecnológicos. A través de la tecnología, el hombre ha conseguido optimizar sus procesos de producción y al mismo tiempo reducir los niveles de contaminación. Estas herramientas se les conoce como tecnologías limpias y están comenzando a ser aplicadas cada vez por mas industrias.



La problemática ambiental actual, la falta de información respecto a los temas de tecnologías limpias y el reciclado de papel, así como de las oportunidades y beneficios que su implementación representa, son los motivos que dieron pauta a la elaboración de este trabajo.

Entre los diferentes materiales y objetos que pueden ser sometidos al proceso de reciclaje se seleccionó al papel debido a que es un elemento de suma importancia para nuestra vida cotidiana. De acuerdo a lo reportado por CICEPLA<sup>1</sup>, en 1999 sus países miembros produjeron más de 11 millones de toneladas de pulpa y 14 millones de toneladas de papeles y cartones, lo que equivale a casi 5% de la producción de papel a nivel mundial y más de 6% de la producción de pulpa, presentando a Latinoamérica como uno de los exportadores de pulpa más importantes.

La industria papelera ha comenzado a implementar novedosos recursos y modificaciones al proceso de elaboración del papel en lo que al vertido de emisiones contaminantes se refiere, la sustitución de productos químicos, y los cambios en diferentes etapas del proceso son algunos ejemplos de las reformas que se aplican en algunas plantas para manufactura y reciclar este material.

---

<sup>1</sup> La Confederación Industrial de la Celulosa y del Papel Latinoamericana (CICEPLA), entidad sin fines de lucro, tiene por objetivos promover el desarrollo sustentable industrial y forestal; promover el comercio entre sus países miembros, así como con el resto del mundo, con la finalidad de hacer crecer a la región.



Mediante este trabajo monográfico se busca proporcionar un enfoque actualizado, conciso y objetivo, con la finalidad de esclarecer el panorama en torno al reciclaje de papel y a las tecnologías limpias que permiten su producción en forma eficiente.

A continuación se presentan los objetivos planteados para el desarrollo de la investigación realizada:

- Reunir material valioso y que contribuya a la comprensión del tema
- Actualizar la información existente
- Presentar un panorama general de la problemática del papel como residuo sólido
- Dar a conocer los conceptos de producción limpia, tecnología limpia, eco-eficiencia y desarrollo sustentable
- Ampliar el panorama del reciclaje a través de la presentación de novedades tecnológicas relacionadas con éste y el tratamiento de residuos sólidos generados por su consumo



## 2. ANTECEDENTES HISTORICOS

Los desechos sólidos son los generados de las actividades humanas y que se eliminan como inútiles o indeseados una vez que un producto ha cumplido con las funciones para las que fue elaborado.

Los problemas con la disposición de desechos sólidos comenzaron a manifestarse desde los tiempos en que el hombre comenzó a congregarse en tribus, poblaciones y comunidades y la acumulación de desechos se convirtió en una consecuencia de sus actividades. El deshacerse de ellos al abandonarlos al aire libre, en las calles, carreteras y terrenos condujo a la contaminación del ambiente.

Mientras la capacidad de la naturaleza para diluir, dispersar, degradar, absorber o disponer de otra manera de los residuos indeseados esté por debajo de la generación de éstos, se impondrá un desequilibrio ecológico en el planeta. (25, 27)

El enfoque de control de la contaminación ha evolucionado a través de tres etapas en los últimos 50 años:

- Dilución
- Tratamiento
- Prevención

La mayoría de los países se encuentran aún en la etapa de dilución y/o tratamiento, especialmente aquellos que se encuentran en vías de desarrollo.



La dilución considera la descarga de contaminantes directamente al ambiente. Se basa en la capacidad asimilativa del agua, el aire y el suelo para diluir o neutralizar los contaminantes producidos, ya que el problema de la contaminación es un problema de concentración. (27)

La etapa de tratamiento, tradicionalmente conocida como "tratamiento al final del tubo"<sup>2</sup>, se ha utilizado ampliamente al final de los procesos de producción para recoger los contaminantes y luego separarlos o neutralizarlos de diferentes maneras, generalmente en instalaciones de tratamiento especialmente construidas para este fin. En el tratamiento por lo general sólo separa los contaminantes de la corriente de residuos. (18, 39)

La dilución y el tratamiento, e incluso el reciclaje, no son soluciones a largo plazo. Los sistemas naturales tienen, como ya se mencionó anteriormente, una capacidad de asimilación limitada para diluir los desechos. En áreas donde se presenta una alta concentración de contaminantes, esta capacidad se excede fácilmente, dañando seriamente al ambiente. El nivel de tratamiento también es limitado debido a que tan sólo una parte mínima de los costos de producción son destinados al control de la contaminación. El reciclaje sufría con frecuencia problemas para la comercialización de sus productos, sin embargo en los últimos años esta ha comenzado a modificarse. (18)

Aquella actitud tan arraigada de deshacerse de los desechos y residuos simplemente arrojándolos sin darles tratamiento alguno está finalmente siendo modificada: hoy en día las



industrias muestran una preocupación por una mejor administración de sus recursos (tanto económicos como materiales). Los productores han comenzado a buscar nuevos acercamientos, lo que podría ser un gran inicio. Conforme estos esfuerzos crecen, se generan nuevas ideas entre las cuales está el convertir lo que es inútil en algo provechoso. Junto con los problemas asociados con los desechos resultantes han aparecido también variados beneficios aportados por los cambios tecnológicos. Para comprender la naturaleza de estos problemas, ha resultado de gran utilidad examinar el flujo de materiales y la producción de desechos asociada al consumo en las sociedades. (25, 27)

Se han desarrollado las filosofías del “diseño para producir”<sup>3</sup> y de “diseño para ensamblar”, ahora se está introduciendo un nuevo término: “diseño para desensamblar”<sup>4</sup>, “diseño para reciclar”<sup>5</sup> y “diseño para el ambiente”<sup>6</sup>, estos conceptos únicamente se refieren a que desde un principio se debe prestar mucha atención a los efectos potenciales de exceso de desperdicios y contaminantes en la elaboración de cualquier producto. (25, 27, 39, 40, 41)

<sup>2</sup> “tratamiento al final del tubo” o “end-of-pipe”, se refiere a las medidas de mitigación de agentes contaminantes una vez que éstos ya han sido generados. Se les consideran las técnicas más comunes empleadas en las industrias para controlar sus descargas de contaminantes.

<sup>3</sup> “diseño para producir”, se refiere a los cambios a los que se someterá a un producto durante su producción.

<sup>4</sup> “diseño para ensamblar” y “diseño para desensamblar”, se refieren a las modificaciones que sufrirá un producto al ser construido e incluso una vez que haya cumplido con su función, es decir, al convertirse en residuo.

<sup>5</sup> “diseño para reciclar”, se refiere al diseño de un producto y las modificaciones que debe sufrir al convertirse en residuo y poder ser reciclado.

<sup>6</sup> “diseño para el ambiente”, se refiere a las características de diseño de un producto, compatible con el ambiente, propiedades y características que permiten que el antes producto sea compatible con el ambiente y no sea tan contaminante.



## 2.1 Producción limpia (PL)

La forma de producción que se ha intentado establecer desde la década pasada es aquella en el que se generan productos duraderos, reutilizables, reparables y reciclables, además de que no exijan materias primas vírgenes.

El objetivo principal de la producción limpia es: minimizar los desperdicios y emisiones en las fuentes que los originan más allá de manejarlos y tratarlos después de que éstos fueron generados. A pesar de su simpleza conceptual, fue hasta finales de los 80's que se le reconoció a la producción limpia como una contribución de valor a la protección ambiental y al desarrollo industrial. (13,48,51, 52, 55, 56, 59, 60)

El concepto de producción limpia fue introducido por la Oficina de Industria y Ambiente del Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente (PNUMA, UNEP por sus siglas en inglés)<sup>7</sup> en el año de 1989, definiéndose como "la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integral, aplicada a procesos, productos, y servicios para mejorar la eco-eficiencia y reducir los riesgos para los humanos y el ambiente". (13)

Las características de esta nueva forma de producción son:

- Conservación de las materias primas y la energía, eliminando aquellas que resulten tóxicas y reduciendo la cantidad de todas las emisiones y desechos.

---

<sup>7</sup>PNUMA, UNE, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, United Nations Environment Program, Programa en el cual se contemplan los aspectos del deterioro del medio ambiente, así como las medidas que deben adoptar los miembros de la ONU para remediar esta situación.



- Elaboración de productos que logren reducir los impactos negativos a lo largo del ciclo de vida del producto<sup>8</sup>, desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final, mediante un diseño adecuado de los productos.
- Generación de servicios incorporando las preocupaciones ambientales en el diseño y suministro de éstos. (13, 14, 15)

Desde sus comienzos, el Programa de Producción Limpia de la UNEP ha desempeñado un papel de suma importancia en el establecimiento y promoción internacional para la PL. Las medidas y actividades establecidas entre los participantes, contribuyeron a incluirla en las agendas de trabajo de los gobiernos, organizaciones multilaterales, agencias, bancos, organizaciones industriales, así como organizaciones no gubernamentales. (13)

Como se mencionó anteriormente, las industrias han respondido a la degradación del entorno en diferentes formas: la prevención se ha convertido en la meta que define a la PL, la cual combina la máxima protección del ambiente con ahorros económicos para la industria y la sociedad.

Al buscar proporcionar beneficios al hombre y a su entorno, la PL intenta impulsar procesos y productos novedosos con el fin de prevenir la contaminación del aire, agua y suelo. El significado de lo anterior implica que para los procesos se debe aprovechar al máximo los materiales y la energía, eliminar el uso de materiales tóxicos y reducir la cantidad de agentes contaminantes y desperdicios antes de que éstos abandonen el proceso.

---

<sup>8</sup> Ciclo de vida, se refiere a la evaluación y seguimiento que se le da a un producto desde que se concibe como una idea o diseño, hasta su disposición final como residuo.



Con respecto a los productos, la producción limpia se reduce al impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida de éstos, desde la extracción de las materias primas, hasta su disposición.  
(39, 40, 41)

Una característica de la PL que no debe olvidarse es que ésta es más que una solución al problema de la contaminación, es una estrategia.



## 2.2 Eco-eficiencia y desarrollo sustentable

Fue durante la industrialización en el siglo 20 cuando todos los sectores industriales se vieron obligados a modificar sus procesos de producción, no sólo para ser más competitivos, sino para conseguir una compatibilidad con el entorno, mismo que comenzó a verse seriamente amenazado por la contaminación. Se manifestó así la conciencia ecológica, estableciéndose ésta como una cuestión no solamente de imagen ante los consumidores, sino además una cuestión administrativa.

La aparición del término desarrollo sustentable, que es empleado para describir políticas y estrategias que permitan el continuo desarrollo económico y social sin deteriorar el ambiente y los recursos humanos, no se hizo de forma inmediata, antes debieron pasar varios años para finalmente forjar una clara relación entre las formas de manufactura y el ambiente, quedando todo este proceso registrado en múltiples reuniones y tratados comerciales internacionales. (10)

Un punto muy importante es que cada vez se hizo mayor la necesidad de nuevos recursos para producir, es decir, materias primas que proporcionaran los mismos beneficios logrados a costos similares o incluso por debajo de los arrojados por la materia prima comúnmente empleada. Dadas todas las condiciones anteriores, se volvió obligatorio el adoptar una nueva forma de administración industrial. Ahora, el administrar no sería cuestión únicamente de establecer y cumplir con una correcta planeación, y con proporcionar bien(es) y/o servicio(s), ahora la dirección de las empresas deberían adquirir un compromiso con la sociedad y el ambiente, es decir, deberían ser de ahora en adelante, "eco-eficientes" (21).



La eco-eficiencia significa desarrollar sistemas capaces de producir bienes y servicios a precios competitivos para satisfacer necesidades humanas y elevar la calidad de vida, al mismo tiempo que se reducen los impactos ecológicos y el uso intensivo de recursos a través de todo el ciclo de vida de un producto, desde su concepción como idea, hasta su desecho. (13)

En muchas ocasiones, las medidas que debían tomarse para conseguir la eco-eficiencia, no requerían de grandes inversiones en nuevas tecnologías y procesos, se podía obtener mediante sencillas mejoras en la administración interna, (teniendo mayor cuidado en el mantenimiento y limpieza, por ejemplo). De esta forma, la eco-eficiencia abarcaría cualquier iniciativa o medida que al ser aplicada genere tanto una reducción en el impacto ambiental como un aumento en la eficiencia, obteniendo un ahorro en costos.

Actualmente la Cámara Internacional de Comercio, además de promover las auditorías medioambientales, estableció la Carta para el Desarrollo sustentable en donde se establece:

- Sin crecimiento económico no existe solución al problema medioambiental
- El problema ambiental no debe crear inestabilidad al comercio internacional
- Es importante desarrollar una nueva política ambiental común entre los países desarrollados y los que no lo están(13)



## 2.3 Papel y reciclaje

Desde tiempos muy remotos el hombre ha utilizado diversos medios de comunicación, el dejar plasmadas sus ideas en una amplia variedad de materiales continua siendo una de las principales herramientas con las que cuenta; el papel ha sido de suma importancia para las sociedades, ya que ha proporcionado conocimiento, educación e información. Hoy en día continúa siendo una pieza angular en las sociedades y su demanda sigue en aumento a lo largo de todo el mundo.

A través de los años el proceso de fabricación del papel como tal no ha sufrido grandes cambios, las principales modificaciones están relacionadas con la materia prima empleada. En un principio éste no era más que el resultado del tratamiento de algunos materiales fibrosos con que se contaba en aquellos días. Para fabricarlo, culturas como la egipcia y la china empleaban la corteza de plantas para obtener de ellas unas tiras muy delgadas, las que luego se humedecían con una especie de almidón y eran colocadas unas encima de otras para finalmente ser prensadas y secadas; el papel más antiguo del que se tiene conocimiento data del año 150 a. De C. y está elaborado a partir de trapos, lo que demuestra que también era posible trabajar con fibras provenientes del lino, algodón, arroz, y cáñamo.(24, 40)

Conforme la industria papelera se iba extendiendo por el mundo, los procesos de manufactura empleados sufrían modificaciones para ser mejorados, comenzaron a diseñarse e introducirse maquinaria especial para facilitar su manufactura. (máquinas para machacar la materia prima hasta ser convertidas en pulpa, prensas).



La expansión del papel por el mundo se debió principalmente al intercambio de conocimientos ocasionados en su mayoría por aspectos históricos (batallas y conquistas por parte de algunas civilizaciones sobre otras), y mediante el comercio (rutas comerciales acordadas, trueque).

Hoy en día la herramienta de regulación y control más importante para la industria de la pulpa y el papel es la denominada **Regla Cluster**<sup>9</sup>, propuesta en 1993 por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de Norteamérica (EPA)<sup>10</sup>, la que protege al hombre y al ambiente por medio de la reducción de los de agentes contaminantes que descarga esta industria al aire y agua.(1, 57)

Durante mucho tiempo, muchas empresas de distintos sectores industriales han estado buscando la minimización de sus desperdicios generados y fue a partir de los años 70's cuando se hizo notoria la necesidad de controlar la gran cantidad de residuos que se estaban generando constantemente, por lo que los gobiernos se vieron obligados a reconocer la situación a la que se enfrentaban tanto la sociedad como la industria y así poder comenzar a establecer nuevos términos bajo los cuales se deberían operar las industrias.

<sup>9</sup> Regla Cluster, elaborada por la EPA, en 1997 para la industria del papel y la pulpa, protege la salud humana y el ambiente, reduciendo las descargas de agentes contaminantes al agua y aire. Establece límites para estas descargas.

<sup>10</sup> Environment Program Agency, EPA, Agencia de los Estados Unidos para la Protección Ambiental, cuya finalidad es la de proteger la salud del hombre y proteger al ambiente.



Con respecto a los registros de la evolución del reciclaje éstos no son totalmente claros ya que, en el momento en el que el hombre concibe la idea de aprovechar al máximo los recursos con los que cuenta y disminuir el impacto negativo que está sufriendo el ambiente, éste se manifiesta por primera vez. Sin embargo, se considera que su aparición se dio durante la Segunda Guerra Mundial y que, poco tiempo después, cuando se inició la llamada época del consumismo de lo desechable, el concepto se perdió.

En las últimas tres décadas el concepto de reciclaje ha adoptado un enfoque social, ambiental y económico.

## **2.4 Tecnologías limpias (TL)**

La creciente contaminación ha generado e incorporado nuevos aspectos en materia de protección al entorno, el cambio tecnológico y las relaciones comerciales internacionales, son las principales iniciativas que se están poniendo en práctica.

La tecnología juega un papel central en el impulso al desarrollo sustentable y por lo tanto, es una pieza clave en la capacidad de respuesta de las economías ante el reto de la sustentabilidad ambiental de la producción. A lo largo de los años se ha visto que la innovación, adaptación de las tecnologías ya existentes, la transferencia de otras y sus evaluaciones son fundamentales en todo proceso de cambio y modernización. Sin embargo, el cambio tecnológico por si mismo no es suficiente para alcanzar los estándares de eficiencia y productividad que establece el desarrollo sustentable. El cambio y el progreso



deben complementarse con la participación de los gobiernos, las empresas, la cooperación internacional y de la misma sociedad. (11, 12,13)

La transformación tecnológica para la sustentabilidad del ambiente no es más que un proceso que permite reducir el daño ambiental.(11, 12)

Las tecnologías ambientales ecológicamente racionales se definen como “aquellas que protegen el ambiente, son menos contaminantes, utilizan todos los recursos de forma más eficaz, reciclan una mayor porción de sus desechos y los trata de manera más eficiente, que las tecnologías que ya existían” (11). Estas tecnologías no son elementos aislados, sino sistemas que abarcan conocimientos técnicos, procedimientos, bienes, servicios y equipos, al igual que procedimientos de organización, administración y gestión.

Las tecnologías ambientales pueden dividirse en tres categorías:

a) Tecnologías correctivas, de control, de última etapa o al final del tubo (end-of-pipe<sup>2</sup>, por su denominación en inglés), se utilizan para reducir emisiones o efluentes en la fase final de los procesos industriales o como tratamiento para los residuos y desperdicios. Su objetivo consiste en reducir la contaminación o permitir el confinamiento adecuado de los desechos. (10)



i) Tecnologías limpias, preventivas o de producción limpia

son aquellas de producto o proceso que no generan desechos, o en algunos casos, que  
gran reducir el nivel de contenido tóxico de los desechos generados. Su objetivo consiste  
en prevenir mediante estrategias la contaminación del ambiente e incrementar la eco-  
eficiencia. (10)

j) Tecnologías de gestión ambiental y de recursos naturales

comprenden diversas actividades operativas y administrativas, así como aspectos  
científicos y técnicos (10, 14,15, 32, 43)



### **3. RESIDUOS SOLIDOS DOMESTICOS: EL PAPEL Y LA CONTAMINACION**

Junto con los beneficios de la tecnología, también han venido los problemas asociados con los desechos resultantes. Los impactos ecológicos, tales como la contaminación del agua y suelo también han sido atribuidos al manejo inadecuado de los desechos sólidos, por lo que resulta importante establecer un panorama general de este tema.

#### **3.1 Fundamentos**

El manejo de los residuos sólidos se puede definir como una actividad asociada con el control de la producción, el almacenamiento, recolección, transferencia y transporte, procesado y disposición de los desechos sólidos en una forma tal que cumpla con los mejores principios de salud pública, economía, conservación, estética e ingeniería y así como otras consideraciones ambientales. Dentro de este contexto, el manejo de los residuos sólidos incluye todas las funciones administrativas, financieras, legales, de ingeniería y planificación involucradas en la gama de soluciones a problemas ambientales que afectan a las comunidades.(42)

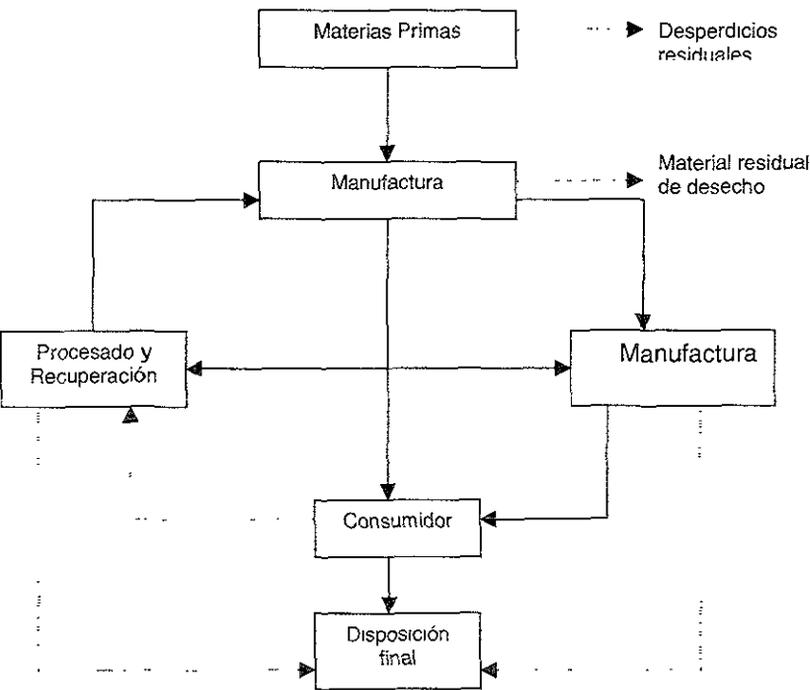
Los problemas asociados con el manejo de desechos sólidos en la sociedad hoy en día son complejos, debido a los volúmenes tan variables y diferente naturaleza de estos , el desarrollo irregular de grandes áreas urbanas, las limitaciones de recursos para servicios públicos en muchas ciudades, los impactos de la tecnología, y las limitaciones en energía y materias primas. Como consecuencia, si el manejo de los desechos sólidos se va a realizar de una manera eficiente y ordenada, se deben identificar y comprender claramente los aspectos y relaciones fundamentales, por lo que resulta conveniente conocer más sobre los



origenes del manejo de tratamiento de residuos sólidos, su evolución y fundamentos para  
si posteriormente poder comprender de mejor manera las alternativas para el tratamiento  
de estos agentes contaminantes.(30, 42, 57)

cómo y cuando se producen desechos sólidos se muestra en el **Diagrama 1.**

**Diagrama 1.**



———— Materias primas, productos y recuperación de materiales

- - - - - Materiales de desecho

Fuente: Programa de Medio Ambiente 1995 – 2000, Estrategias Proyectos y Acciones Prioritarias, pp. 128 – 130



Como se aprecia en la figura anterior, los residuos sólidos pueden ser de origen industrial (manufactura) o doméstico (consumidor), siendo éstos últimos los de interés para el desarrollo de este trabajo monográfico.

La clasificación de los desechos sólidos se puede clasificar de la siguiente forma: (39)

*Desechos domésticos o residenciales.* Incluye materiales como basura, cenizas, y aquellos artículos del hogar que ya no pueden utilizarse.

*Desechos comerciales.* Originados de oficinas, bancos, tiendas, restaurantes, escuelas y hospitales, dentro de esta categoría se pueden incluir restos de material de construcción, y desechos semisólidos.

*Desechos municipales.* Comprende desechos que resultan de las actividades y servicios municipales: limpieza de las calles y parques, animales muertos, residuos sanitarios abandonados, arbustos y plantas.

*Desechos Industriales.* Generados por la industria manufacturera, algunos de éstos pueden resultar peligrosos y dañinos a los seres vivos y al ambiente.

*Desechos agrícolas.* Son el resultado de actividades desarrolladas en el campo, como lo son el cultivo, recolección y procesado de algunos productos (frutos, legumbres y hortalizas).

Conforme el hombre adoptó una vida sedentaria comenzó a transformar su entorno. Sus acciones tuvieron consecuencias y entre éstas estuvo la aparición de residuos y desechos de diversa índole, lo que lo forzó a buscar una solución a tal situación.



en el año 500 A.C. cuando Atenas estableció el primer basurero municipal en el mundo occidental. Posteriormente durante la época medieval, el manejo de los desechos se convirtió en una responsabilidad individual, no había siquiera indicios de interés por parte de los gobiernos y sus representantes. (25, 27)

Entre los siglos XIV y XV, los gobiernos europeos reconocieron que la basura (integrada por desechos o residuos) se estaba convirtiendo en un problema muy serio para las ciudades, por lo que se comenzaron a establecer decretos para su control.

En 1968, el Presidente Johnson, comisionó a la Inspección Nacional de Prácticas para los desechos sólidos comunales, ésta proporcionaba información comprensiva sobre desechos y residuos sólidos a nivel nacional. Dos años después, el **Acta sobre depósito de desechos sólidos**<sup>11</sup> fue sustituida por el **Acta de Recuperación de Recursos**<sup>12</sup> y el Gobierno Federal se vio obligado a elaborar manuales en materia de manejo y tratamiento de desechos.(25)

Para mediados de los años 70's, se creó el **Acta de la Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA)**<sup>13</sup>, en la cual se enfatizó la importancia de la conservación de los recursos al reciclaje como alternativa adecuada ante el manejo de desechos sólidos.(25)

---

<sup>11</sup>Acta sobre depósito de desechos sólidos, Fue la primer ley federal en el manejo de desperdicios sólidos y su manejo, autorizaba la investigación en el manejo de éstos y proporcionaba algunos métodos de disposición de desechos sólidos.

<sup>12</sup>Acta de Recuperación de Recursos, resultado de las modificaciones aplicadas al Acta sobre depósito de desechos sólidos, ésta se corrigió y aumentó para garantizar mayor efectividad en el manejo de residuos sólidos.

<sup>13</sup>Acta de la Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA), comprende manejo y disposición de materiales peligrosos.



## Manejo y tratamiento de residuos sólidos

Existen diferentes formas para dar tratamiento a los residuos domésticos sólidos. La Comunidad Europea reconoce como opciones de administración de residuos (en orden de importancia):

Prevención

Minimización

Reciclado

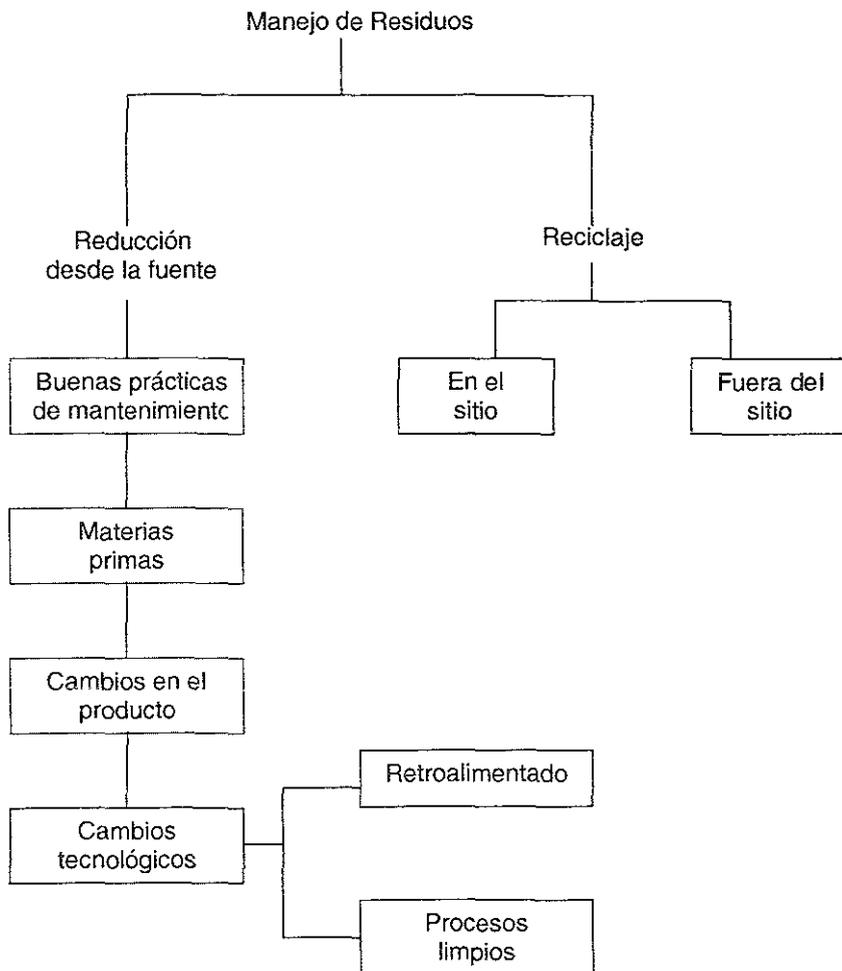
Disposición

De acuerdo a las técnicas para la minimización de desechos, el enfoque de tecnología limpia se concentra en la reducción de los recursos. (25, 27, 39)

Las prácticas más comunes para el manejo de residuos sólidos se muestran en el **Diagrama**



**Diagrama 2.**



Fuente: Clean Technology and the Environment, 1997. Blackie Academic & Professional.



## RECICLAJE

Reciclar hoy en día es más que una simple técnica de tratamiento de residuos, es una estrategia administrativa acerca del manejo de residuos sólidos. Mientras que en los países en desarrollo la preocupación sobre el manejo de los residuos está dirigida a reglamentar la limpieza urbana con el objeto de evitar problemas de salud y la formación de focos de infección por la dispersión callejera de la basura, en los países desarrollados se habla de reducción y reutilización. (13, 29, 34)

### 1 Generalidades

Muchos de los primeros intentos por reciclar fallaban, debido a que la solución involucraba solamente el recolectar los desechos (una actividad sin sentido, a menos que estos materiales pudieran volver a utilizarse, ya fuese en forma de un producto o servicio diferente del que inicialmente formaba parte), por lo que se tuvo que buscar una mejor aplicación del material recuperado y así replanteando la administración de recursos para las empresas. (25, 27)

El aseguramiento de la vida de un producto es una herramienta en la evaluación de los atributos ambientales asociados a un producto, servicio o proceso y puede aplicarse en forma conceptual o sistemática en una forma más cuantitativa. Mediante esta herramienta se pueden apreciar los impactos ambientales a lo largo de la vida útil del producto. El enfoque de un estudio de aseguramiento de vida incluye la definición del sistema, sus límites y los requerimientos de información. (27)



A través del reciclaje se transforman materiales que se consideran basura en recursos valiosos, generando una multitud de beneficios ambientales, sociales y financieros. Significa separar, coleccionar, procesar, administrar, vender y consumir un material que de no haber sido aprovechado, se hubiese abandonado. (16, 29, 40, 44, 49, 56, 71)

### Beneficios

Hoy en día, cada vez más de los productos que usamos son manufacturados en su totalidad o parcialmente con contenido de material reciclado. El recolectar y procesar materiales secundarios, manufacturar y posteriormente comprar productos reciclados crea un círculo que asegura el éxito y valor del reciclaje, mediante el cual se logran grandes beneficios, entre los que destacan:

- Conservación de recursos naturales, específicamente de los árboles; se requieren 17 árboles para producir 1 ton de papel.
  - Ahorro de agua y energía; fabricar 1 ton de papel a partir de fibra virgen requiere de 16320 KWatt, comparados con 5919 KWatt empleados en producir la misma cantidad de papel pero a partir de papel de desperdicio.
  - Mejoramiento de la calidad del aire y agua; se disminuyen las emisiones de agentes contaminantes. Reducción en la generación de residuos sólidos; Reduce nuestra dependencia en rellenos e incineradores, protege nuestra salud
  - Creación de nuevos mercados para estos productos
  - Estimulación del desarrollo de nuevas tecnologías y del desarrollo sustentable para los sistemas de producción de papel
- (5, 23, 25, 36, 44, 71, 75, 78)

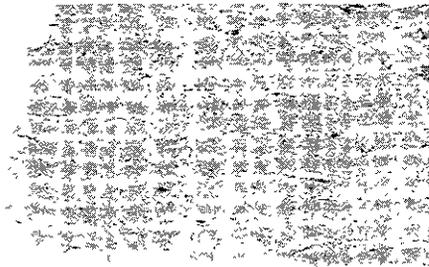


## 2.2 El papel reciclado

### Características generales

A través de la historia el papel ha sido elaborado a partir de una amplia variedad de materias primas fibrosas, pero sólo unas cuantas de éstas han alcanzado una producción comercial significativa. Entre los materiales más comunes se incluyen: algodón lino, lana, paja, bagazo e incluso otros papeles. (13)

**Figura 1.**



El papel reciclado es aquel elaborado con cierto porcentaje de fibras denominadas *recicladas o secundarias* (**Figura 1.**); la *pasta* para fabricar el papel es preparada a partir de material papelerero de desecho en lugar de recursos de fibra virgen; Existen dos clases de material de desecho:

- *Pre-consumo (Pre-Consumer)*. Derivados de los desechos de actividades industriales, forestales o agropecuarias. La característica principal de estos materiales es que nunca han entrado en contacto con el consumidor. (7, 13, 16, 27)

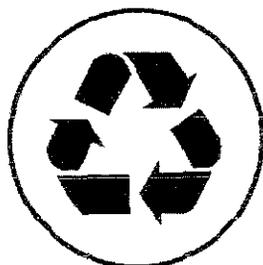


- *Post-consumo (Post-Consumer)*. Generados por desechos caseros, industriales, comerciales y de oficinas que han sido utilizados y ya no pueden seguir siendo utilizados para los fines que fueron fabricados. Es el principal recurso para obtener la fibra secundaria. (7, 13, 16, 27)

El contenido mínimo de fibra secundaria post-consumer para que un papel sea considerado como reciclado, oscila entre el 10% y 30%, dependiendo del tipo de uso que se le dará al material. (73) Para identificar fácilmente el papel o cualquier producto que ha sido elaborado a partir de material de desecho que puede servir como materia prima de otro, se ha acordado dejar impreso un logotipo de reciclado<sup>14</sup> en ellos. (16, 73) El diseño se muestra en la **Figura 2**.

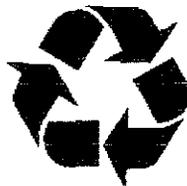
<sup>14</sup> El símbolo de reciclado fue desarrollado en 1970 por Gary Anderson como resultado de un concurso patrocinado por la Corporación de Recipientes de América (CCA, una división de Smurfit-Stone Corp.), productor de material papero reciclado. El diseño apareció por primera vez en un cartón de material 100% reciclado.

**Figura 2.**



Símbolo para distinguir aquellos productos que están elaborados a partir de material reciclado

**Figura 3.**



Símbolo para distinguir aquellos productos que pueden ser reciclados

La **Figura 3.** representa el logotipo utilizado para indicar el reciclado de materiales.

El papel reciclado es distinto de aquel conocido como “ambientalmente amigable”, la diferencia se debe a que los últimos son elaborados con fibra virgen y en sus procesos de manufactura emplean recursos y técnicas que de acuerdo a los fabricantes, son compatibles y “amigables” con el ambiente es por esto, que se ha acordado el que los productos de papel sean marcados con el porcentaje y tipo de contenido reciclado. (5, 16, 29, 44, 71, 80)

El papel reciclado posee una alta calidad e incluso ésta puede llegar a ser la misma del papel elaborado con fibra virgen sin embargo, algunas características físicas pueden ser diferentes: coloración amarillenta y más opaca, mayor densidad y flexibilidad, disminución de la porosidad y la compresibilidad, presentan una mejor lisura.



Considerando que los productos elaborados a partir de material papelerero reciclado no tendrán una funcionalidad más allá de los 10 años, éstos pueden ser utilizados para las siguientes funciones:

- Papelería
- Documentación
- Publicación e impresión de diversos materiales

Es importante mencionar que algunos papeles reciclados no son recomendables para uso en fotocopadoras o impresoras de tinta láser. (8, 16, 60, 64, 80)

### Obtención de fibra secundaria

Los recursos a partir de los cuales se obtienen estos materiales son:

- *Papel de oficina.* Incluye los papeles utilizados como papelería.
- *Periódico.* Muchos de los papeles pueden reciclarse. Los periódicos han sido reciclados con éxito por décadas, reciclar a partir de otros papeles se está haciendo común. Los periódicos son muy fáciles de encontrar y de una consistencia uniforme, lo que lo hace de gran valor.
- *Papel corrugado.* Conocido comúnmente como caja de cartón. El material debe estar libre de grasa (cajas de pizza u otros alimentos).
- Libros, directorios telefónicos. Algunos directorios telefónicos se fabrican con pegamentos especiales mismos que se descomponen con el agua.
- *Papel mixto.* Es una mezcla de papeles de todos tipos, desde revistas hasta papel para envoltura. El papel debe estar limpio, seco, libre de alimento, ceras o grasas y otros contaminantes. Se puede manejar aún con grapas.



En todas estas materias primas las fibras son unidas firmemente, aunque es necesario que mantengan una determinada separación entre sí para producir papel. Una vez ya acondicionadas, las fibras son tratadas dependiendo de las propiedades que se desee posea el papel como por ejemplo brillo, espesor, color, textura. y deben limpiarse para remover impurezas y residuos de aditivos. (29, 34, 46, 51, 60, 71)

#### Papeles que no pueden ser reciclados

Son aquellos que se encuentran en productos tales como papel o cartón encerado o con recubrimientos plásticos (recipientes de leche, jugo, bolsas para alimento de perros, etc.), papel que presenta restos de alimentos, papel húmedo, papel carbón, productos sanitarios, papel para fax (térmico), etiquetas; El requisito primordial es que el papel debe estar exento de cualquier clase de contaminante o películas plásticas para poder ser reciclado. (29, 34, 46, 51, 60, 71)

#### **4.3 Proceso de manufactura**

El reciclaje comprende tres principales etapas (representadas por las tres flechas del símbolo tradicional del reciclado), éstas a su vez están integradas por otros procedimientos.

El objetivo del reciclaje de material papelerero es recuperar la fibra celulósica empleada en la fabricación del papel, lo que significa eliminar componentes utilizados durante su manufactura, su conversión y su consumo; El papel está integrado por tres componentes básicos: fibra celulósica (sustrato del papel), cargas minerales (empleadas para rellenar los poros que quedan entre las fibras y proporcionar una apariencia uniforme al papel, caolines



carbonatos generalmente de calcio) y finalmente, almidón (para el acabado superficial y mejor resistencia de fibras). Dependiendo del tipo de papel se requieren otros materiales sin embargo, los anteriores son los más importantes. (10, 16)

### **Recolección y procesado de materia prima reciclable**

El papel debe recolectarse y separarse de acuerdo al estado físico en el que se encuentre y el tipo de papel del que se trate; La lluvia y la luz del sol dificultan la remoción de las tintas en el papel impreso, por lo que estos materiales deben mantenerse alejados de ellos.

La recolección de los materiales se realiza a través del funcionamiento de centros de recolección, de compra y programas de depósito-reembolso, **Figura 4.** y 5. Los materiales son enviados a sitios de recuperación de materiales, en donde son preparados para posteriormente ser transformados en nuevos bienes. Los materiales reciclados son comprados y vendidos como cualquier otro bien y los precios de los materiales cambian y fluctúan con el mercado. (5, 8, 10, 11, 16, 18, 23, 29, 34, 70, 78, 81, 82)



**Figura 4.**



Figura 5.



En la **Tabla 1.** se muestran los volúmenes y porcentajes en peso de los residuos sólidos generados diariamente en el D.F., mientras que en la **Tabla 2.** se tienen las toneladas y principales tipos de papel de desperdicio producidos.



**Tabla 1.**

<b>Tipo de residuo (origen)</b>	<b>Cantidad (ton / día)</b>	<b>% en peso</b>
Alimentario	3126	28.06
Jardinería	395	3.55
Papel (incluyendo papel sanitario usado)	2258	20.27
Cartón (incluyendo envases para bebidas)	1240	11.13
Plásticos (rígidos, flexibles y termofijos)	924	8.30
Metálicos (envases, chatarra)	355	3.18
Vidrio (botellas, frascos)	735	6.60
Otros	547	18.91
Total de residuos generados	11140	100.00

Fuente: DGSU/DDF<sup>15</sup>. Residuos sólidos en la zona metropolitana, datos básicos. 1995. México

<sup>15</sup> DGSU/DDF, Dirección General de Servicios Urbanos del Distrito Federal



**Tabla 2.**

Material	Cantidad (ton / día)	%
Papel bond	846	7.59
Periódico	755	6.78
Papel sanitario	657	5.90
Cartón	1033	9.27
Total de residuos generados (incluyendo otros materiales)	11140	100.00

Fuente: DGSU/DDF. Residuos sólidos en la zona metropolitana, datos básicos, 1995. México

Para poder producir papel reciclado las fibras deben primero ser tratadas y posteriormente utilizadas en la manufactura del papel. En sí, la etapa de mayor importancia en este proceso es la *molienda o preparación de la pulpa*. (10, 16, 18, 45, 57, 64, 69)

### Preparación y limpieza de las fibras

Una vez que los fardos de papel ya han sido seleccionados, éstos son remojados en grandes tanques y mediante rotores mecánicos son reducidos a una suspensión cuyo contenido de sólidos varía de 4 a 15% (constituida principalmente por material fibroso), dependiendo del proceso, el equipo disponible, etc. Mediante este procedimiento se busca separar las fibras celulósicas, las cargas materiales, las tintas, adhesivos, plásticos, metales y el resto de materiales que no son fibras. A ese proceso se le denomina proceso de



mpimiento, desintegración, suspensión o pulpeo y a la preparación obtenida se le llama *sta.*

s principales objetos que se recuperan del contacto que tuvo el papel con el consumidor n considerados como contaminantes, estos son: grapas, clips, cinta adhesiva, etcétera.

acuerdo al tipo de papel del que se trate, se tienen diferentes impurezas.

continuación se procede a eliminar estos contaminantes, comenzando con los de mayor naño: plásticos, alambres y cintas adhesivas, así como recubrimientos y polímeros licados al papel. La pasta pasa a través de placas perforadas que retienen a estos teriales, pero debido a que estas placas no retienen a los contaminantes de menor naño (grapas, clips), en algunos casos se instalan equipos de limpieza centrífuga sin embargo, también se puede recurrir al uso de imanes.

los equipos de limpieza centrífuga la pasta es alimentada a presión en forma tangencial a cono, dentro del cual se forma un vórtice en el que se separan la pulpa y el resto de los ateriales debido a la diferencia de densidades. Los materiales más pesados se desplazan cia las paredes del cono y son eliminados en su parte inferior (menor diámetro), mientras e la pasta se mantiene en la parte superior.

principio de los limpiadores centrífugos es útil también para eliminar parte de las cargas nerales, mediante la variación de presiones de entrada y salida al igual que el contenido sólidos o consistencia; Sin embargo, para que la pasta sea obtenida más limpia y que el oceso sea más eficiente, se utiliza además el principio de filtrado continuo; Mediante este oceso se logra suprimir también parte de las tintas, de acuerdo al tamaño de sus



partículas. La pasta es conducida al equipo conocido como “lavadora” en donde es proyectada a presión contra una malla o tela que actúa como medio filtrante; La mayor parte de la fibra es retenida sin embargo, algunas fibras de tamaño pequeño denominadas *finos* logran pasar a través de ellas (esto dependerá de la abertura de la malla o tela y del espesor de la pasta), mientras que las cargas minerales y parte de las tintas atraviesan el medio filtrante. Cuando las partículas de tinta comienzan a separarse del papel se añaden químicos para que éstas no logren adherirse de nuevo a la pulpa. (10, 16, 29, 64, 70, 71, 78, 80, patentes)

El papel puede llegar a ser reciclado de 5 a 8 veces antes de que las fibras que lo constituyen se vuelvan cortas y débiles debido al reuso. (48, 64)

A lo largo del proceso de pulpeo se emiten diversos contaminantes al aire y agua, algunos de ellos son materiales volátiles de la materia prima, otros productos de las reacciones de los químicos con la materia prima ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , polvo) y finalmente energía en forma de calor que es disipado con el vapor de agua y en la temperatura de los efluentes.

El agua de proceso es descargada como efluente, conteniendo químicos residuales del proceso y fibras disueltas (sólidos y algunos iones inorgánicos); Los residuos químicos del proceso y los productos de las reacciones de los componentes de la fibra y los aditivos son liberados al agua y aire y aparecen como corrientes de desperdicios sólidos además, el material fibroso aparece en las corrientes de aguas residuales teniendo impacto en el ambiente: cambio de color de las aguas y por consiguiente reducción de la penetración de la

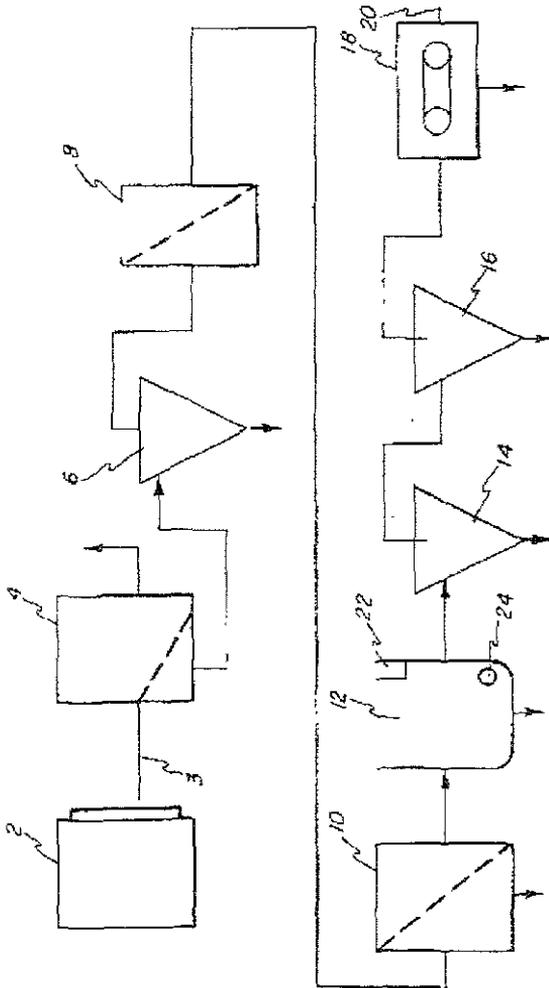


uz, así como cambios en su composición química provocando alteraciones en la flora y fauna acuática. (12, 39, 47, 52, 53)

Un esquema general de este proceso para reciclar papel se muestra en el **Esquema 1**.



**Esquema 1.**  
**Reciclado de papel**  
**(proceso general)**



Fuente: PATENTE No. US 5,742,756  
Descripción del esquema en la sig. página



## descripción

- . Alimentación del papel a la estación / Preparación de la pasta
- . Dispersión de sólidos (20 – 80% en peso) y tinta
- . Sistema de limpieza, pantalla 0.050 – 0.125 in  
La dispersión que sale de este sistema puede diluirse de 1.5 a 2% sólidos en peso
- . Sistema de limpieza, ciclón
- . Sistema de limpieza, pantalla de malla más delgada 0.050 – 0.125 in
- 0. Sistema de limpieza, pantalla de malla más delgada 0.004 – 0.010 in
- 2. Sistema de flotación  
La dispersión que se obtiene puede reducirse de 0.5 a 1.0% de sólido en peso
- 4. Sistema de limpieza, ciclón
- 6. Sistema de limpieza, ciclón
- 8. Sistema de lavado
- 0. Carga lavada: PASTA LISTA PARA BLANQUEO O FABRICACION DE PAPEL LISTA  
PARA FABRICAR PAPEL
- 4. Aire comprimido

**PATENTE No. US 5,742,756**



## Destintado

El destintado es el proceso de remover la tinta y otros químicos presentes en las fibras obtenidas a partir de papel de desperdicio o reciclado; el principal objetivo de la preparación de la pasta es dispersar la tinta en agua, mientras que el del destintado es remover la tinta del agua. (34,47, 50)

Existen tres tipos principales de destintado usados en la industria papelera: (77, 82, 84)

- Lavado
- Flotación
- Enzimática

El tipo de destintado al que se someterá a la fibra se selecciona dependiendo de la clase de tinta que se tenga que eliminar, siendo el tamaño de la partícula de tinta el principal criterio para esta selección; En ocasiones se combinan dos tipos de destintado para proporcionar una mejor calidad a la pasta.

La tinta contiene un pigmento o tinte (no polar) y un medio que permite la adherencia al papel. Los medios son generalmente aceites o polímeros, aunque los elaborados en base agua se están volviendo muy populares. En general, el destintado requiere de químicos que hinchen las fibras para poder remover la tinta. Entre las sustancias químicas empleadas se encuentran: (13, 66,77)



- Hidróxido de sodio. Crea medios alcalinos y ayuda a la tinta a desprenderse de las fibras
- Peróxido de hidrógeno. Empleado para blanquear y evitar que la pasta adopte una coloración amarillenta
- Hidrosulfito. Blanquea o remueve tintes del papel de color
- Silicato de sodio. Se utiliza para reducir la tensión superficial de los líquidos, lo que evita que las partículas de tinta se adhieran nuevamente a las fibras.
- Quelantes. Evitan la descomposición del peróxido de hidrógeno por acción de iones metálicos.
- Colectores. Utilizados en los procesos de flotación para reunir las partículas de tinta en grupos y facilitar su eliminación de la pasta. Pueden ser aniónicos, catiónicos, anfóliticos y no-iónicos.
- Displetores. Se usan en sistemas en los que se combinan la técnica de flotación y lavado.

De los procesos de destintado, los más utilizados para tratar papel reciclado y otros productos papeleros son el lavado y la flotación.

### Lavado

El lavado de tintas es muy similar al lavado de la ropa, es el proceso mecánico de enjuagar la tinta e impurezas de la pasta. En este proceso la tinta es separada de las fibras empleando *surfactantes no iónicos* y bases, la finalidad de esto es mantener las partículas



de tinta separadas unas de otras y hacer su superficie externa hidrofílica. La tinta entonces se mantiene en suspensión y puede ser filtrada. (13, 66, 77)

Otro método para eliminar las tintas es el de la flotación, que consiste en hacer hidrofóbica la superficie de las partículas es decir, repelentes al agua; para eliminarlas, se inyecta aire a la pasta y ésta se libera en un tanque a presión atmosférica donde el aire forma burbujas, a las cuales se adhieren las partículas de tinta. Una vez aglomeradas, estas partículas son arrastradas hacia la superficie, en donde son eliminadas.

El periódico es usualmente destintado por lavado **Figura 6.** y 7. mientras que, la pasta obtenida de fibras de revistas es tratada por flotación al igual que los papeles impresos con medios láser (éstos requieren incluso de dos secuencias de flotación para quedar libres de tinta).

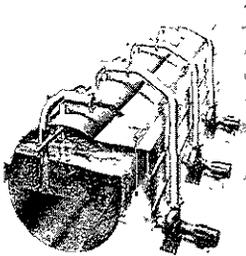


Fig. 13.12.b. Voith Maad Injector Tubular Cell (1995);

**Figura 6.**



**Figura 7.**



A pesar de que el destintado con enzimas (enzimático) no es tan común para limpiar las fibras, éste posee grandes ventajas: provee mayor brillo a las fibras, facilita el proceso de flotación, reduce la cantidad de químicos necesarios para eliminar las tintas.

Este procedimiento resulta muy útil para tratar material de desecho de oficina e impresiones láser (a diferencia de la flotación); las enzimas utilizadas para este proceso son: lipasas, pectinasas, hemicelulasas, celulasas y enzimas ligninolíticas. (13, 66, 77)

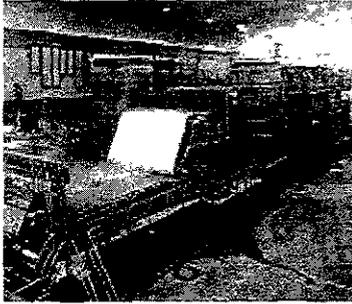
Por otra parte, elementos como los adhesivos son eliminados mediante la etapa denominada cribado. Durante ésta se hace pasar la pasta por una canastilla con perforaciones o ranuras o una combinación de ambas en diferentes unidades. El principio de esto es la diferencia de morfología entre las partículas de los adhesivos (esféricas) y las fibras celulósicas (cilíndricas).

De acuerdo con la calidad deseada en la fibra al final del proceso, será necesario o no un sistema de blanqueo. Este proceso lleva a cabo con oxígeno y/o peróxido de hidrógeno,

**Figura 8.** (8, 10, 19, 37, 46, 52, 53)



**Figura 8.**

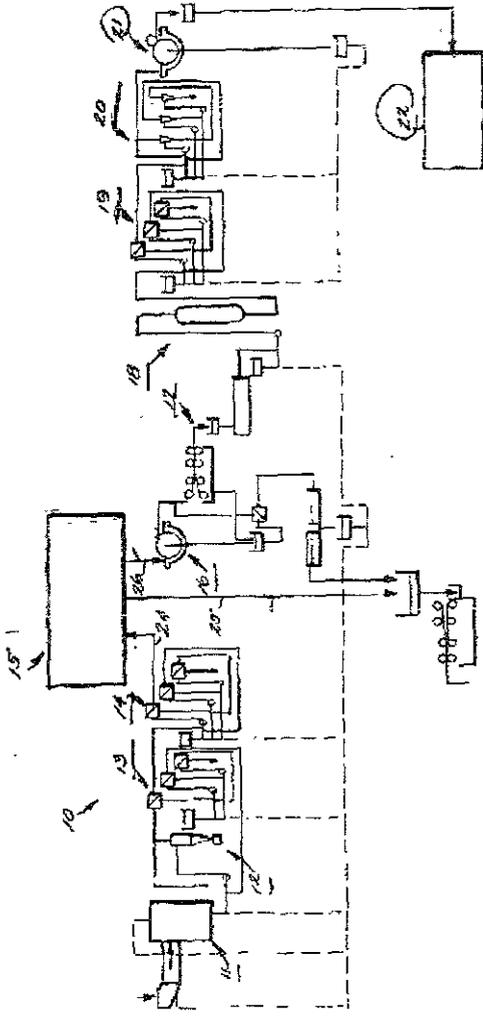


En el **Esquema 2.** se muestra un proceso de reciclado con su respectiva etapa de destintado



### Esquema 2.

### Reciclado de papel (Proceso general)



Fuente : PATENTE No. US 5,069,751  
Descripción el esquema en la sig. página



## Descripción

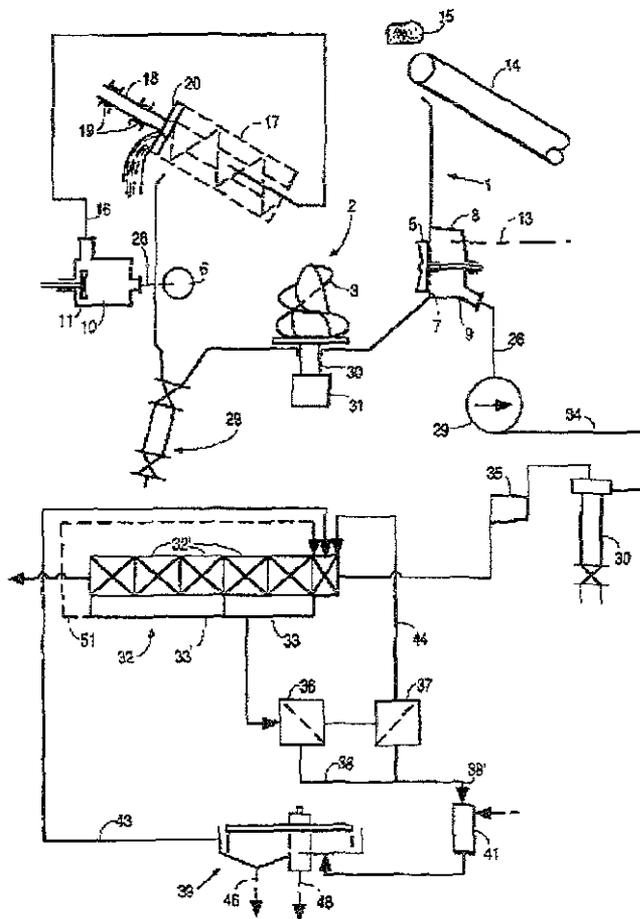
10. Proceso para el reciclado de papel
11. Maquinaria para preparar la pasta, pulpeador
12. Sistema de limpieza por densidad
13. Sistema de limpieza, pantallas y mallas
14. Sistema de limpieza, pantallas y mallas
15. Sistema de destintado por flotación
16. Sistema de lavado
17. Aparatos de dispersión
18. Etapa de blanqueo (Opcional)
19. Sistema de limpieza, pantallas y mallas
20. Sistema de limpieza, ciclones
22. Planta de fabricación de papel
24. Alimentación de la suspensión (agua + papel)
25. Descarga del sistema de flotación, tinta
26. Descarga del sistema de flotación, pasta

**PATENTE No. US 5,069,751**



El Esquema 3. muestra un proceso de destintado de pasta

**Esquema 3.**  
**Sistema de destintado de pasta**  
**(Esquema General)**



Fuente: PATENTE No. US 5.358,605  
Descripción del esquema en la sig. página



## Descripción

1. Machacador, preparación de pasta con 15% peso en sólidos
2. Rotor
3. Hélices
5. Rotor
6. Orificio
7. Pantalla
8. Cámara de separación
9. Salida
10. Aparato de fluidización
13. Tubería
18. Flecha
20. Brazo
26. Tubería
29. Bomba
30. Limpiador Vortex
- 30 A. Flecha
31. Motor
34. Tubería
32. Sistema de flotación
- 32'. Etapas del sistema de flotación
36. Pantallas, diámetro 0.3 – 0.5 mm
37. Mallas, ancho 0.05 – 0.1 mm
38. Línea de líquido a purificar
- 38'. Línea de líquido a purificar
39. Sistema de recuperación del agua que sale de la limpieza a través de las mallas
41. Reactor de dispersión de gas
43. Línea de recirculación del agua
44. Tubería
46. Tubería
48. Tubería
51. Tubería

**PATENTE No. US 5,358,605**

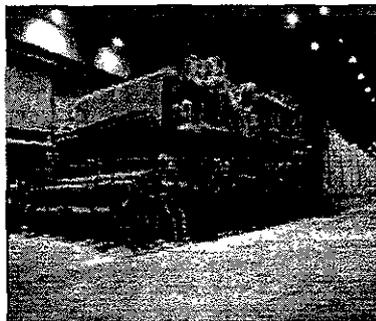
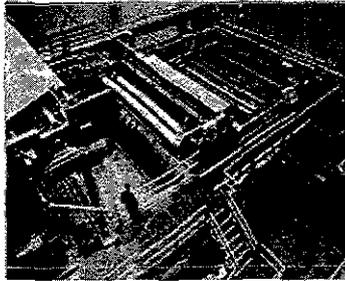


### Manufactura de los materiales a nuevos productos.

La pulpa resultante es enviada al área de surtido, donde es tratada y cargada en la cabeza de una máquina de papel. A partir de este punto, la pulpa es tratada en la misma forma en que se trataría pulpa elaborada a partir de materias primas vírgenes, **Figura 9.**

Hoy en día cada vez más productos en el mercado están siendo manufacturados con un contenido total o parcial de material reciclado, los principales productos que se pueden encontrar son: papel, bolsas y envolturas y materiales de construcción (6, 19, 32, 51)

**Figura 9.**



**Figura 10. y 11. Plantas productoras de papel.**



Dentro de las actividades de las plantas de pulpa y papel se requiere de grandes cantidades de agua y altos niveles de energía (para calentado, bombeo y circulación de materiales), químicos necesarios en el tratamiento de los materiales (algunos de los cuales son dañinos al medio ambiente, además de que esta actividad genera grandes volúmenes de efluentes y emisiones a la atmósfera (olores, CO<sub>2</sub>). (17, 48, 55, 56, 57, 58)

Cuando se aplican correctamente los procedimientos de fabricación (tomando en cuenta al medio ambiente), además de recursos como las tecnologías limpias, el impacto ambiental que la industria de la pulpa y papel generan es menor, lo que cumpliría con las demandas del desarrollo sustentable.

El concepto básico en la manufactura de la pulpa es darle tratamiento a la materia prima de tal forma que las fibras resultantes posean las características requeridas para su uso en la fabricación de papel. La materia prima se obtiene a partir de ser madera dura o suave, así como de plantas no madereras y residuos agrícolas: bambú, paja, bagazo, textiles o fibras recicladas.

Existen diferentes procesos de pulpeo, cada uno adaptado a las diferentes materias primas y los requerimientos de la fabricación del papel. El concepto más importante que se debe entender con respecto a las propiedades de las fibras recicladas es que éstas van perdiendo sus propiedades, principalmente la fuerza entre ellas cada ocasión que se reciclan. (4, 62, 77)

Esto es más crítico para las pulpas químicas que para las mecánicas, lo que ha sugerido que la remoción de lignina influye en la facilidad para reciclar



El secado durante la elaboración del papel produce enlaces de hidrógeno (hornificación), lo que provoca que la fibra sea menos flexible. (64, 66)

El potencial para la aparición de enlaces de hidrógeno durante la elaboración subsecuente del papel es menor debido al poco contacto entre las fibras y por consiguiente las propiedades de fuerza, que recaen en los enlaces de hidrógeno, decrecen.

Se puede proveer flexibilidad a través de la refinación, pero esto también genera fibras helgadas y cortas. Por lo anterior se debe incluir fibra virgen en la fabricación en diferentes cantidades y así mejorar las propiedades del papel.

(4, 10, 45, 52, 53, 60, 64, 66)

### **Compra y uso de productos de contenido reciclado.**

Al final del proceso de reciclado, un nuevo producto papelerero ha sido producido a partir de material que de otra forma hubiera sido arrojado como relleno de terrenos.

El reciclado es una forma importante para los consumidores y fabricantes de papel para trabajar juntos y promover un ambiente más limpio (14, 16, 17). Los productos elaborados a partir de papel reciclado aparecieron en los años 70's y han ido transformándose y mejorando su calidad a través de los años. Hoy en día se pueden conseguir productos tales como artículos de oficina (carpetas, folders, sobres, separadores, etc.), materiales para envoltura y paquetería como cajas y protecciones, cartones, productos diversos de papel (bolsas libros, revistas, calendarios, materiales absorbentes), así como de nueva cuenta papel (15). Debido a los diferentes grados de calidad del papel, éste puede ser utilizado para diversos fines: papel para oficina, para impresión (bond, xerográfico, periódicos, offset, para textos, para grabado, cubierta). (16, 18, 44, 60, 70, 71, 75, 78, 80, 81, 82)



## Aspectos administrativos y eco-eficiencia

Toda empresa le interesa identificar las oportunidades que se le presentan para reducir costos y mejorar su desempeño ambiental. Lo anterior puede conseguirse a través de la disminución en el uso de materias primas y los costos de manejo de residuos; crear coproductos que sean comerciables (en lugar de que sean residuos), desarrollar nuevos mercados e incrementar su posicionamiento en el actual. La empresa entonces generará ahorros en energía y adicionalmente se logrará mejorar la seguridad en el trabajo.

(5, 11, 18, 29)

De acuerdo a las técnicas para la minimización de desechos, el enfoque de tecnología limpia se concentra en la reducción de los recursos. En el **Diagrama 2.** (revisar capítulo 3) se muestran los componentes de la reducción de materiales, así como la administración de desechos y las prácticas que ésta envuelve.

Comprar productos elaborados a partir de material reciclado promueve beneficios económicos y ambientales. Mediante la adquisición de productos fabricados con material reciclado, se crean incentivos económicos para la recolección, manufactura y venta de materiales reciclables como nuevos productos.

Aunque actualmente en un panorama general el mercado de los materiales papeleros reciclados no se encuentra establecido en forma sólida, existen algunas clases de estos papeles cuya demanda está creciendo, tal es el caso del material corrugado muy solicitado para fines de embalaje y empaçado. Muchos de los productos elaborados a partir de papel reciclado no son más caros que los elaborados con material virgen sin embargo, el papel



ado, particularmente el impreso y el de escritura, pueden costar más que el papel  
o, los costos son variables dependiendo del grado del papel. (21, 34, 56, 65, 76)  
Desarrollo individual de estos mercados ha desarrollado requerimientos cada vez más  
cíficos.

actividades industriales pueden modificarse para alcanzar mayor eficiencia y una  
ración más redituable. La eco-eficiencia, como una práctica de administración se refiere a  
acer más con menos. Las medidas que deben tomarse para alcanzar la eco-eficiencia no  
mpre requieren de grandes inversiones en nuevas tecnologías y procesos, generalmente  
pueden llevar a cabo a través de simples mejoras en la administración interna. En este  
texto, la eco-eficiencia abarca "cualquier iniciativa o medida que aplique una empresa de  
cual resulte, tanto reducción de su impacto ambiental y aumento en la eficiencia,  
teniendo un ahorro de costos para la compañía en cuestión".(13) Los ejemplos típicos de  
medidas de eco-eficiencia son la *minimización de residuos*, el uso de *tecnologías limpias* y la  
reducción en el uso de *energía o materiales por unidad de producto*. Las medidas de eco-  
eficiencia también pueden ser de administración, de procesos, de tecnologías, o bien,  
orientadas al proceso de producción, pero generalmente no incluyen tratamiento de residuos  
(tratamiento al final el tubo" <sup>2</sup>).

Dentro de la *administración de residuos* las actividades de mayor importancia son: la  
adecuada separación y almacenamiento de diferentes tipos de residuos que permitan



reparar, reusar y reciclar<sup>16</sup> el material. Los beneficios incluyen la reducción en costos de disposición, ahorros en materia prima, nuevos mercados para subproductos. La acción de costos puede reflejarse inmediatamente en el estado de resultados e una resaca: ahorro en materia prima, energía y agua. Ahorros adicionales podrán surgir en el futuro, al evitar multas costosas por contaminación.

La eco-eficiencia ahorra dinero y promueve un mejor posicionamiento de las empresas en el mercado, así como el cuidado del medio ambiente. (10)

En el pasado, los negocios habían logrado el cumplimiento de la normatividad utilizando una y otra vez más “tecnologías de fin de tubo” para disminuir su contaminación. Sin embargo, estas son tecnologías muy costosas y constantemente requieren mejoras para continuar cumpliendo con las nuevas regulaciones. La alternativa adoptada por empresas más pioneras, es cambiar sus prácticas actuales para eliminar o disminuir los residuos que producen. Esta adopción de eco-eficiencia minimiza el uso de “tecnologías de fin de tubo” y reduce los costos directamente. (10, 13, 29, 41, 52, 53, 54, 58, 62)

Las medidas de mantenimiento general no son necesariamente técnicas, también incluyen funciones básicas como almacén, control de existencias, mantener registros, limpieza y mantenimiento en general. (46)

<sup>16</sup> Elementos que integran la denominada filosofía de las “3 r’s”



---

El mantenimiento general es necesario para que el negocio funcione eficientemente. En su forma, un buen mantenimiento es el primer paso y el más importante, para una mejora en la eco-eficiencia, es aquí el primer lugar donde buscar oportunidades para el ahorro de recursos, disminución de generación de residuos y prevención de contaminación. Un buen mantenimiento genera menores costos, y riesgos, que se traducen en ahorros para la empresa. Las áreas en las cuales se puede aumentar la eficiencia mediante la mejora del mantenimiento general incluyen: (17, 48, 51)

Manejo del material

Conservación del agua y de la energía

Inspección y mantenimiento del equipo

Políticas de compras y almacenamiento

Monitoreo de procesos

Una clave de lo anterior es que dondequiera que haya desperdicios se está tirando dinero y esas acciones afectan directamente al ambiente.

#### Mantenimiento General.

Manejo del material. Las medidas de mantenimiento general eco-eficientes para el manejo de material en la manufactura de pulpa y papel, y en los procesos de impresión se incluyen en la siguiente lista. Estas medidas no solamente incrementan la eficiencia en la producción sino que también reducen el consumo de energía, agua y químicos, además de que



zan la generación de residuos, a continuación se muestran aquellas de considerable importancia:

*Uso de fibras:* mantener los materiales limpios y evitar la contaminación del suelo, reducir el contenido de sílica, ya que los altos contenidos de ésta en fibras como el pino y la paja, incrementan la dureza de la fibra y pueden disminuir la calidad del producto como ineficiencias en la cocción. (48, 61)

*Almacenamiento de fibras:* Protegerlas de lluvia y polvo, empaquetar las fibras de tal forma que puedan ser apiladas en plataformas duras para prevenir cualquier ataque microbiano. Siempre se debe almacenar las fibras a niveles adecuados de humedad.

*Lavado y desempolvado:* Empezar un desempolvado húmedo y un lavado antes de hacer pulpa. Cuando sea posible, el agua de lavado debe ser protegida y recirculada para ser reutilizada. (ibid.)

*Fibras de bagazo:* Eliminar la médula para reducir la necesidad de usar químicos en la fabricación de pulpa y las molestias durante el lavado y la elaboración del papel. (ibid.)

*Descortezado de fibras de madera:* El descortezado provee materias primas limpias e homogéneas para el proceso, en la medida de lo posible, se debe utilizar el descortezado en frío, reduciendo así la generación de efluentes y evitando la necesidad de secar las cortezas. (ibid.)



---

*ción de fibras:* El material que sea enviado para defibración o para cocción debe tener un contenido de humedad, tamaño y provenir de especies similares así como estar libre de contaminantes. (ibid.)

### **Uso del material en el proceso de impresión**

*Reciclado con rodillos:* Recolectar y reutilizar la tinta del prensado con rodillos.

*Recolección de tinta:* Extraer solventes del exprimido o de la centrifugadora de trapos para su reutilización.

*Reducción de solventes:* La pérdida de solventes debido a su uso inadecuado y a la evaporación pueden variar desde un 25-40%. Se pueden minimizar las pérdidas cubriendo los tanques de limpieza, cerrando las entradas al drenaje y evitando el uso innecesario de solventes. Se puede incrementar la eficiencia del lavado usando cepillado mecánico en lugar de solventes.

*Cambio de color.* Mezclar tintas conforme se necesite e imprimir la serie de colores en una sola secuencia para evitar el lavado de residuos. (19, 46)



## . PRODUCCION (PL) Y TECNOLOGÍAS LIMPIAS (TL)

La industria puede hacer realidad la PL por medio estableciendo un compromiso hacia la acción dentro de la compañía. Debido a que la PL involucra a menudo un cambio de actitudes, la gente necesita inventivos para trabajar hacia un enfoque integrado y sistemático y protección ambiental; Se requiere del entrenamiento de los trabajadores, supervisores y administradores para identificar oportunidades para la implementación de la PL, se sugieren 10 pasos para introducir un programa de PL en una empresa: (45, 55, 61, 64)

- Desarrollar e implantar una política ambiental corporativa que sea comprensiva y que se centre en la prevención
- Establecer metas corporativas para el programa de PL, con objetivos específicos cuantificables en porcentajes y cronogramas
- Asignar responsabilidades, tiempo y apoyo financiero para el programa de PL
- Involucrar a todos los empleados de todos los niveles
- Desarrollar procedimientos de auditoría para la reducción de residuos dentro de la empresa y usarlos sobre una base regular para identificar, evaluar y eliminar residuos en cada etapa de los procesos de producción. Esto proporciona información sobre la cual se pueden basar las opciones de PL
- Obtener y utilizar la mejor información técnica posible tanto interna como externa a la compañía. Los criterios de reducción de residuos pueden cubrir factores técnicos ambientales, cumplimiento con las regulaciones, aceptación pública y viabilidad económica. Es necesario investigar las publicaciones específicas para cada industria sobre PL



Monitorear y evaluar el progreso del programa de PL de la compañía

Informar regularmente sobre el progreso conseguido; Animar y recompensar los esfuerzos individuales y colectivos exitosos para implantar la PL

(52,53)

La implementación de la producción limpia dentro de los sistemas administrativos y productivos de una empresa frecuentemente es llevada a cabo por medio de la ejecución de *evaluaciones de producción limpia*, éstas se pueden definir como procedimientos sistemáticos planteados con el objetivo de identificar las formas de reducir o eliminar la generación de residuos y emisiones contaminantes; Las evaluaciones contribuyen a la estructuración de un programa de desarrollo de producción limpia para alcanzar el desarrollo sostenido. Tales evaluaciones cumplen con tres funciones principales:

1. Análisis de los efectos que tienen los procesos de producción en el medio ambiente.
2. Inventario y evaluación de las opciones de mejoramiento para los procesos de producción.
3. Integración de las opciones de mejoramiento factibles dentro de los procedimientos de producción y las operaciones administrativas de la empresa.

Para poder conseguir alcanzar una producción más limpia se pueden utilizar los siguientes recursos: (21, 29, 38, 39, 40, 41, 48)

Buenas prácticas operativas. Son las medidas productivas, administrativas o institucionales que una industria utiliza para minimizar sus residuos: Programas de minimización de residuos, prácticas administrativas y de personal, prácticas de manejo de materiales y de



inventarios, prevención de pérdidas, control estricto de procesos, prácticas de contabilidad y costos y programas de la producción.

Cambios tecnológicos. Son las modificaciones del proceso y equipo para reducir los residuos prioritariamente en el ciclo de producción. Estos cambios incluyen: cambios en los procesos de producción, en los equipos, flujo de materiales, automatización, condiciones de operación de los procesos.

Una vez tomado el primer paso, al mejorar el mantenimiento general, la evaluación de eficiencia continua con los cambios tecnológicos y la sustituciones de materiales.

Las tecnologías más fáciles de implementar son, generalmente, las probadas en otras industrias. Dichas modificaciones continuamente se llevan a cabo en las siguientes áreas:

- sustituciones de material
- diseño y planeación de las etapas del proceso
- diseño del producto
- control del proceso

En cada caso, la etapa de diseño (de un producto, proceso y particularmente nuevas instalaciones), brindan la oportunidad única de realizar un cambio.

Sustitución de materiales. Ayudan a evitar por un lado, la entrada de materias primas peligrosas al proceso productivo, así como la generación de residuos de este tipo. Estos cambios incluyen la purificación y sustitución de algunos de los materiales del proceso.



Reciclaje in situ. Con esta medida, la intención principal es reducir los residuos que resultan de la manufactura y consumo final de cualquier producto. La reutilización dentro de una actividad productiva se puede realizar a partir de tres acciones fundamentales:

- a. Volver a introducir un material dentro de la línea de producción
- b. Utilizar de nuevo un material, dentro del mismo proceso productivo, pero o dentro de la misma línea de producción
- c. Aprovechar el material como materia prima para otra actividad industrial

Rediseño del producto. Se plantea con la intención de reducir los residuos que resultan del uso de un producto, puede incluir sustitución del producto, mejoramiento de sus funciones y cambio en su constitución.

### **Implementación de la producción limpia en la industria**

La industria puede hacer realidad la PL por medio estableciendo un compromiso hacia la acción dentro de la compañía. Debido a que la PL involucra a menudo un cambio de actitudes, la gente necesita inventivos para trabajar hacia un enfoque integrado y sistemático de protección ambiental; Se requiere del entrenamiento de los trabajadores, supervisores y administradores para identificar oportunidades para la implementación de la PL, por lo que se sugieren 10 pasos para introducir un programa de PL en una empresa: (7, 14, 15, 52,53, 55, 58)



Desarrollar e implantar una política ambiental corporativa que sea comprensiva y que se centre en la prevención

Establecer metas corporativas para el programa de PL, con objetivos específicos cuantificables en porcentajes y cronogramas

Asignar responsabilidades, tiempo y apoyo financiero para el programa de PL

Involucrar a todos los empleados de todos los niveles

Desarrollar procedimientos de auditoría para la reducción de residuos dentro de la empresa y usarlos sobre una base regular para identificar, evaluar y eliminar residuos en cada etapa de los procesos de producción. Esto proporciona información sobre la cual se pueden basar las opciones de PL

Obtener y utilizar la mejor información técnica posible tanto de dentro como de fuera de la compañía. Los criterios de reducción de residuos pueden cubrir factores técnicos ambientales, cumplimiento con las regulaciones, aceptación pública y viabilidad económica. Es necesario investigar las publicaciones específicas para cada industria sobre PL,

Monitorear y evaluar el progreso del programa de PL de la compañía

Informar regularmente sobre el progreso conseguido

Animar y recompensar los esfuerzos individuales y colectivos exitosos para implantar la

PL



## 5.1 Producción limpia en la industria de la pulpa y el papel

Para los procesos de producción, la producción limpia comprende conservar las materias primas y la energía, eliminando lo más posible, el uso de sustancias tóxicas y reduciendo la cantidad tanto como la toxicidad, de las emisiones y desechos antes de que éstos abandonen cualquier proceso. Para los productos, esto significa reducir su impacto ambiental durante su ciclo de vida entero; Para los servicios, esto significa la incorporación de aspectos ambientales con el diseño y entrega de los servicios. (27, 31)

La producción limpia significa ahorros económicos a partir de la reducción de materiales y energía y tratamientos de menor costo.

La manufactura, uso y deshecho de los productos de papel puede resultar una gran carga al ambiente, el suelo, agua y aire se ven continuamente afectados por las emisiones y descargas de residuos que la industria papelera genera. Esta industria utiliza considerables volúmenes de agua (se calcula que 250,000 l de agua son necesarios para producir 1 ton de papel), lo que se ve reflejado en los habitats ya que, los niveles de agua decrecen, la temperatura es alterada y se descargan sustancias químicas tóxicas. (77)

Entre las principales afectaciones está al uso de agentes clorados y halogenados., además del uso de surfactantes no biodegradables durante los procesos de limpieza, los que pueden acumularse y resultar tóxicos o de otra forma dañino al ambiente si se descarga; Los efluentes descargados pueden contener altas concentraciones de materiales orgánicos ocasionando que el oxígeno del agua se agote y por consiguiente, impactando a la flora y fauna.



La producción limpia como ya se indicó anteriormente, es la aplicación continua de una estrategia preventiva en la generación de desechos y emisiones a partir de los procesos, productos y servicios, para incrementar la eco-eficiencia y reducir riesgos a los humanos y al medio ambiente.

Si los procesos de fabricación no son llevados a cabo en forma adecuada, las pérdidas de fibra y químicos utilizados durante el proceso son significantes.

Cuando se aplican correctamente los procedimientos de fabricación (tomando en cuenta al medio ambiente), además de recursos como las tecnologías limpias, el impacto ambiental que la industria de la pulpa y papel generan es menor, lo que cumpliría con las demandas del desarrollo sustentable.

Para los procesos de producción, la producción limpia comprende conservar las materias primas y la energía, eliminando lo más posible, el uso de sustancias tóxicas y reduciendo la cantidad tanto como la toxicidad, de las emisiones y desechos antes de que éstos abandonen cualquier proceso. Para los productos, esto significa reducir su impacto ambiental durante su ciclo de vida entero; Para los servicios, esto significa la incorporación de aspectos ambientales con el diseño y entrega de los servicios. (12, 35, 39, 52, 53, 55)

La producción limpia significa ahorros económicos a partir de la reducción de materiales y energía y tratamientos de menor costo.



## 5.2 Tecnologías limpias

Una tecnología limpia como se indicó anteriormente, es aquella estrategia, una forma de pensar a través de la cual se proporcione beneficios al ser humano, mediante el menor uso de recursos, además de ocasionar mínimo daño al medio ambiente (15). La tecnología limpia es una idea que va más allá de la producción limpia: se concentra no sólo en un producto, sino además en los beneficios que obtendrán los consumidores; La implementación de estas tecnologías puede exigir la reordenación de estrategias dentro y fuera de una empresa. (14, 15)

### Características de las tecnologías limpias

- Reducen los riesgos para la salud humana y el medio ambiente
- Usan los recursos naturales y fuentes de energía con mayor eficiencia
- Reducen las emisiones tóxicas y desechos
- Reciclan una mayor porción de sus desechos y productos
- Dan tratamiento a los desechos industriales

### Objetivos de las tecnologías limpias

- Mayor aprovechamiento de los recursos y por consiguiente menor generación de residuos
- Menor toxicidad
- Minimización del consumo de energía
- Consideración del conjunto de las etapas de producción y el ciclo de vida del producto



Debido a que entre los objetivos de estas tecnologías está el evitar que la calidad de los recursos naturales no se deteriore, en el caso del agua se busca que ésta no se ensucie con materiales indeseables (deshechos industriales o domésticos) contaminen el agua, será necesario entonces contar con elementos que la limpien después de ser usadas por el hombre, (generación nula o menor de desechos, menor toxicidad, minimización del consumo de energía y materias primas, consideración del ciclo de vida del producto). (7)

En el caso del aire, las tecnologías limpias permiten lavar las emisiones de gases de modo que estos no sean dañinos para el ambiente. Estas tecnologías también permiten el reemplazo de agentes dañinos.

Las tecnologías limpias que se aplican para el suelo se enfocan a la remediación de los efectos de la erosión, aumento en el rendimiento de los campos, reducción en el ritmo de crecimiento de la demanda de materias primas naturales, de igual forma evitar el desperdicio de recursos. (7)

La contaminación que generan las industrias se debe principalmente a la variedad y clase de químicos que éstas utilizan, lo que ha desembocado en una dificultad para poder controlar el problema.

Las principales estrategias por medio de las cuales se pretende resolver este problema se pueden dividir en cinco áreas funcionales: regulación, producción y uso de químicos, minimización de residuos; control de pérdidas, tratamiento de residuos (dentro de esta estrategia se encuentra el reciclado), limpieza de la contaminación. La estrategia de minimización de residuos destaca para enfoques administrativos. (31, 51, 52, 53)



Una tecnología limpia tiene como objetivo evitar el daño ambiental mediante su aplicación, a diferencia de una *tecnología de limpieza* cuya función es la de reducir el impacto ambiental por medio de correcciones o modificaciones a una planta o proceso establecido. (52)

La definición de producción limpia emitida por la UNEP se refiere explícitamente al *ciclo de vida* de un producto o proceso (a través de éste se consiguen algunas reducciones en el consumo de materiales y por consiguiente disminuye la generación de residuos y otros contaminantes). El aseguramiento ambiental del ciclo de vida es un acercamiento formal a definir y evaluar la carga total asociada con el proporcionar el servicio, mediante el seguimiento del material asociado y flujos de energía desde sus recursos primarios hasta la generación de residuos. (52, 53)

### 5.3 Tecnologías limpias para el reciclado de papel

Como ya se mencionó anteriormente, la etapa más importante del proceso del reciclado de papel es la preparación de la pasta, la que una vez preparada, sufre el mismo proceso de manufactura del papel producido con fibra virgen. Debido a esto, las tecnologías limpias empleadas durante la producción del papel, son utilizadas durante el reciclado de los residuos papeleros.

A pesar de que se ha impulsado el cambio tecnológico durante la última década, una buena parte de las nuevas tecnologías de menor impacto ambiental para la industria del papel sobre todo en el caso de la producción de pasta están aún en una primera etapa de difusión.



s tecnologías incluyen:

**Blanqueo con productos libres de cloro elemental (ECF por sus siglas en inglés, Elemental Chlorine Free Bleaching).** Se refiere a sustituir el dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ) por  $\text{Cl}_2$  durante la etapa de blanqueo. Debido a sus diferencias químicas y la reacción con la *lignina*, el uso de  $\text{ClO}_2$  ha demostrado superar las condiciones de la operación; Las concentraciones de los efluentes de compuestos orgánicos clorados son reducidas de 5 a 10 veces, las concentraciones de *dioxinas* disminuyen sustancialmente o no pueden ser detectadas. (1, 39, 45, 54, 55, 58, 69, 71, 75)

**Blanqueo libre de cloro (TCF, Total Chlorine Free).** Emplea químicos no clorados tales como oxígeno  $\text{O}_2$ , peróxido de hidrógeno  $\text{H}_2\text{O}_2$  u ozono  $\text{O}_3$  y en ocasiones recurre al empleo de enzimas (revisar etapa de blanqueo, capítulo 4). Los beneficios obtenidos mediante este tipo de blanqueo son similares a los observados al utilizar el blanqueo con productos libres de cloro elemental:

Reducción de la formación de compuestos clorados en efluentes

Disminución de la toxicidad de las descargas

(1, 35, 39, 45, 54, 55, 58, 69, 71, 75)

**Proceso de Delignificación.** Los procesos sufren algunas modificaciones para eliminar la lignina de la pasta y poder disminuir el uso de productos químicos para el blanqueo. La presencia de lignina en la mayoría de las pastas las hace difíciles y costosas de blanquear. Si se logra removerla mediante este proceso puede reducir en forma significativa los volúmenes de

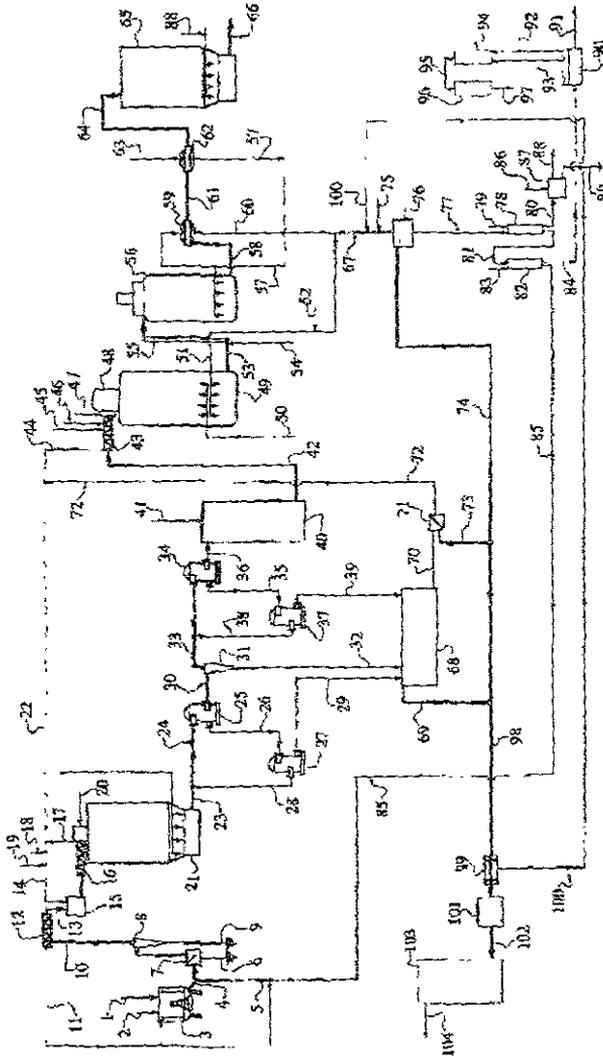


---

químicos necesarios para la operación de blanqueo, e incluso la necesidad de  
o, de la pasta, vía la adición de una etapa más en el proceso, la predelignificación .  
de la delignificación es remover tanta lignina como sea posible, sin sacrificar la  
d de pasta. El **esquema 4**. se refiere a un ejemplo de este proceso. (53, 54, 75)



### Esquema 4. Delignificación (Proceso General)





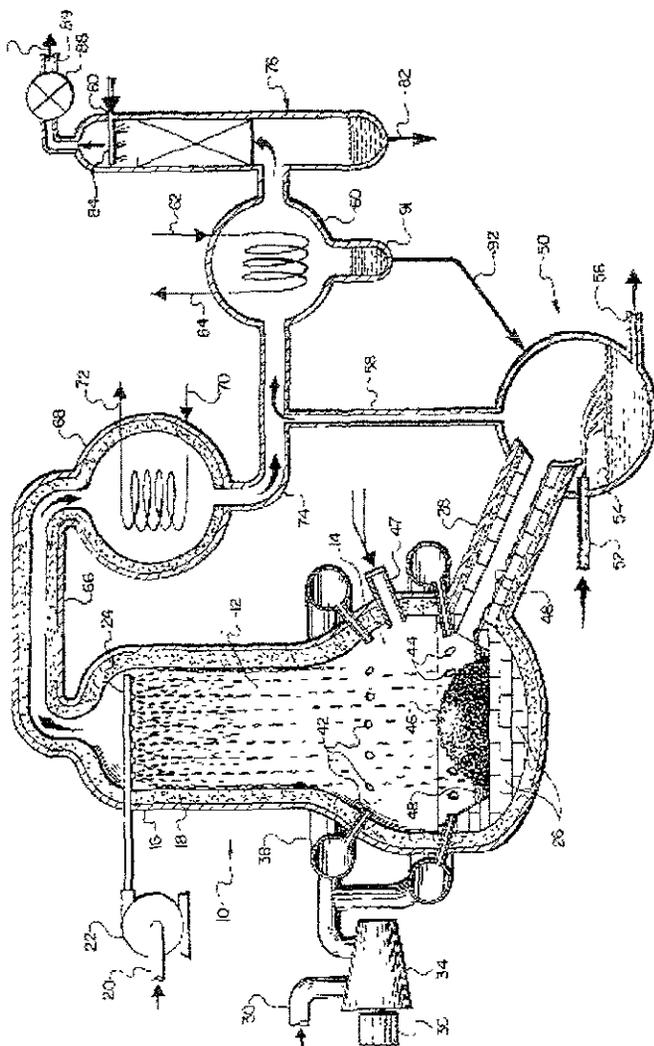
**Sustitución de fibras.** Como su nombre lo indica, se sustituyen aquellas fibras de origen vegetal por otras. En el capítulo de reciclaje, se ha mencionado que la materia prima para la producción de papel obtenerse a partir de diversos materiales como fibras naturales (algodón, fibra de madera, paja) y mezclas con materiales sintéticos. (GRUETZE-RIEGELS, patente DE19543480) (46, 62, 65, 70, 80, 86)

**Clasificación de licores negros.** El licor negro, subproducto del proceso de preparación de la pasta, es una sustancia muy contaminante debido a su pH (12 a 13) y a la carga de material orgánico e inorgánico que contiene.

Empleo de la denominada precipitación ácida en lugar de la recuperación por boilers para recuperar los químicos empleados durante la preparación de la pasta; mediante un proceso fisicoquímico, se logra reducir la D.Q.O. hasta en un 70%, haciendo posible el posterior aprovechamiento de la lignina como materia prima para otras industrias en diferentes sectores. La precipitación ácida se basa en el hecho de que la lignina es completamente soluble en el agua cuando el medio es alcalino, mientras que en medios ácidos es insoluble, pudiéndose así separar por métodos físicos como la filtración o la centrifugación. El **esquema 5.** representa este proceso.(19, 25, 35, 39, 45, 46, 80, 86)



Esquema 5.  
Gasificación de licores negros



Fuente: PATENTE No. US 4,773,918  
Descripción del esquema en la sig. página



## Descripción

1. Reactor
2. Zona de secado
3. Zona de gasificación. Se recomienda operación a 100 C
4. Pared externa
5. Material aislante
6. Alimentación del licor negro
7. Bomba
8. Sistema de aerosol
9. Bloques de material refractario
10. Sistema de suministro de gas, alimentación (mezcla rica en oxígeno, aire)
11. Compresor
12. Motor
13. Inyección de gas
14. Inyección de gas
15. Lecho de carbón
16. Conducto
17. Licor verde
18. Conducto para la eliminación del licor verde
19. Conducto
20. Condensador
21. Alimentación de refrigerante
22. Salida del líquido enfriador
23. Salida de gas
24. Generador de vapor
25. Alimentación de agua
26. Salida de vapor
27. Salida del gas
28. Torre de absorción
29. Tubería
30. Instrumentos de dispersión, distribución
31. Válvula
32. Vapor de agua condensado (resultado de la combinación de gases)
33. Tubería

**PATENTE No. US 4,773,918**



## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Mediante la elaboración de este trabajo monográfico de actualización se consiguió ampliar el panorama del proceso para el reciclado de papel, pero sobre todo, el de las tecnologías limpias que pueden aplicarse durante esta actividad.

La creciente contaminación del ambiente obliga hoy en día a las sociedades a modificar sus hábitos de producción y consumo, manifestándose entonces la producción limpia como un elemento clave para la solución a este grave problema.

La finalidad del combate a la contaminación, pero sobre todo su prevención, es el conseguir el desarrollo sustentable entre las sociedades y de esta forma mantener el equilibrio entre el hombre y sus actividades con el ambiente y los recursos naturales, tanto en el presente como en el futuro, por lo que esta nueva filosofía continua expandiéndose a lo largo del mundo.

La producción limpia contempla el mejoramiento de los procesos productivos y administrativos, sin embargo, para lograr una mayor eficiencia, (en este caso llamada eco-eficiencia por involucrar al medio ambiente y aspectos ecológicos), se ha visto que resulta apropiado utilizar otros recursos, tal es el caso de las tecnologías limpias y medidas como el reciclaje de materias primas y residuos.



Entre las formas de contaminación más comunes está la generada por los residuos domésticos, por lo que se ha considerado que el reciclaje de estos materiales es una medida adecuada para el tratamiento de éstos.

Se ha visto que en ocasiones el tratamiento de residuos no es lo óptimo como combate a la contaminación, el disminuir la generación de residuos y otros agentes contaminantes se perfilan como mejores soluciones, una vez más, las tecnologías limpias se contemplan como grandes aportaciones; Las tecnologías limpias desarrolladas especialmente para el proceso de reciclado están enfocadas a la minimización de agentes contaminantes al aire y agua principalmente. En realidad una tecnología limpia se refiere a la adquisición de un nuevo enfoque sobre la elaboración y suministro de productos y servicios.

El objetivo que se plantea alcanzar mediante la implementación del reciclado de papel y las tecnologías limpias, es establecer la filosofía de la producción limpia, y de esta manera, conseguir beneficios económicos, sociales, financieros y ambientales al mismo tiempo. Sin embargo, se ha visto que la concepción del reciclaje aporta grandes beneficios y ventajas tanto para el sector industrial, como para la sociedad sin embargo, el introducir estas herramientas no siempre resulta sencillo. Los principales retos a los que se deben enfrentar son: escaso mercado, poca difusión para el consumo de papel y productos elaborados a partir de fibra secundaria.



En lo que a materia ambiental se refiere, ésta ha ido modificándose con el paso de los años, apareciendo nuevos conceptos y adecuando otros a las circunstancias actuales, de ahí la importancia de la actualización de la información.

En materia de regulación, ya se han establecido herramientas útiles en lo que al reciclaje de materiales y la emisión de agentes contaminantes se refiere (éstas se han vuelto cada vez más estrictas).

Por las conclusiones anteriores se recomienda que, para alcanzar el desarrollo sustentable, se deben articular aspectos económicos, sociales y ambientales mediante variados recursos, herramientas y acciones de apoyo (como lo son las tecnologías limpias), tal es el caso del reciclaje de materiales (papel, en este caso). Lo anterior se debe, a que el desarrollo sustentable busca mantener el equilibrio entre los recursos naturales, su aprovechamiento y el hombre, no sólo para remediar a situación actual, sino para prevenir desastres ecológicos y la constante degradación del planeta.



## BIBLIOGRAFIA

1. Adams, T. N. 1999. Impact on recovery of pulping and bleaching changes to meet the EPA Cluster Rule. Tappi Journal. 78, No. 12.
2. S.n. And the winner is... Air Products & Chemicals, Inc. 1995. Chemical Engineering. diciembre, 66 – 68.
3. Blount, Estefanía, 1997. Dimensiones de la idea de producción limpia, Depto. De Medio Ambiente, Confederación Sindical de CC. OO, Chile.
4. Bristow, A. J. 1999. ISO brightness – a more complete definition. Tappi Journal. October 82, No. 10, 54 – 56.
5. Calenbuhr, Vera, 1997. Introducción editorial sobre algunos aspectos de las Tecnologías Limpias, IPTS REPORT, vol. 27.
6. Cano, A. 1997. Papel, Programa Universitario para el Medio Ambiente, PNUMA, UNAM, México, 69 – 71.
7. Careaga, J. 1997. El reciclaje en el contexto del manejo integral de los Residuos Sólidos. Programa Universitario para el Medio Ambiente, PNUMA, UNAM. 27 – 51.
8. Clean Production, Part 1, Environmental Research Foundation, 1999.
9. Coleman, M. J. 1990. The paper industry ad the environment. Tappi Journal. 73, supp feb. pág. 105-109.
10. Industria y medio ambiente en México y Centroamérica, un reto de supervivencia. 1999. CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Naciones Unidas.
11. Clif, R. 1995. Clean Technology – An Introduction. J. Chem. Tech. Biotechnol. 62, 321 – 326.
12. Clif, R. 1997. Clean Technology – The Idea and the Practice. J. Chem. Tech. Biotechnol. 68, 347 – 350.
13. Cortés, X. 1993. Reciclaje de papel. Tesis de Licenciatura, México.
14. S.n. Economics and sustainability go hand in hand, Chemistry & Industry, noviembre 21, 1994.



5. Ember, L. 1994. EPA sets strategic goals for next five years. Chemical and Engineering News. septiembre 26, 6 – 7.
6. Environmental Choice New Zealand, Recycled Papers, may 2000
7. S.n. EP3, Evaluación de prevención de contaminación en una imprenta de cartón y empaques. Estudio de caso. marzo 1995.
8. Frosch, R. A. 1995. The Industrial Ecology of the 21<sup>st</sup> Century, A clean and efficient industrial economy would mimic the natural world's ability to recycle materials and minimize waste". Scientific American. septiembre, 178 – 181.
9. Goddard, H. 1997. El Reciclaje y la Sustentabilidad: papel de la economía, Programa Universitario para el Medio Ambiente, PNUMA, UNAM, México, 129 – 139.
10. Hileman, Bette, 1992. Industrial Ecology Route To Slow Global Change Proposed, International industry-environment conference suggests ways to reconfigure industry and agriculture worldwide to halt damage to environment. Chemical and Engineering News. gust 24, 70, 7 – 14.
11. Recycling in the paper industry, 1999. U. S. A.: Institute of Paper Science and Technology.
12. Josephson J. 1992. Sustainable In Cold and Forest Warm Lands Management. Environ. Sci. Technol. 26, No. 10, 1892 – 1894.
13. Journal of Industrial Ecology 1997. Forum Roundtable on the Industrial Ecology of Pulp and Paper. 1, No. 3, 87 – 114.
14. Kates, S. R. W. 1994. Sustaining Life on the Earth, Scientific American, october 1994, pp. 114 – 122
15. Kirkwood, R.C., etal. 1998. Clean Technology and the Environment. Blackie Academic & Professional, U.S.A.
16. Layman, Patricia L. 1996. Sustainable development: Industry learns to cope, and to tell about it. Chemical and Engineering News. may 13, 17 – 19.
17. Lund, H. F. 1993. Ed., The McGraw-Hill recycling handbook, MacGraw- Hill, New York, Estados Unidos
18. Marrazzo, W. J. 1996. The Challenge of Sustainable Infrastructure Development. Environmental Progress. 15, No. 30, F3.



29. Matey, M. 1999. La gestión medioambiental en la industria papelera. Ingeniería Química. Abril, 158 – 165.
30. McKay, S. 1999. Engineering a sustainable future, Process Engineering, septiembre, 25 – 26.
31. Nagpal, Tanvi, 1995. Voices from the developing world, progress toward sustainable, Environment, october Vol. 37, No. 8, 10 – 16, 30 – 42.
32. Navarro, Victoria, 1998, Programa Universitario de Recuperación de Residuos, PNUMA, UNAM, México, 224 – 230.
33. Negro, C. 1999. et al., Hacia el vertido cero en la obtención de pastas químicas blanqueadas, ingeniería Química, abril pp. 171 - 178
34. S.n. Buying and Using Recycled Paper. Environmental Fact Sheet. 1998. U.S.A.: New Hampshire Department of Environmental Services
35. S.n. Recycling Newspaper. Environmental Fact Sheet. 1998. U.S.A.: New Hampshire Department of Environmental Services.
36. O’Riordan, T. 1995. Frameworks for choice, core beliefs and the environment. Environment. 37, No. 8, 4 – 9, 25 – 29.
37. S. n. Paper Recycling Process Benefits Environment And Profits, Daily University Science News, julio 31, 2000.
38. Peck, V. y Daley R. 1994. Toward a greener pulp and paper industry. The search for mill effluent contaminants and pollution prevention technology. Environ. Sci. Technol. 28, 12, 524A – 527A.
39. Pfeffer, J. T. 1997. Solid waste management engineering. Prentice Hall, capítulo 1.
40. Pfeffer, J. T. 1997. Solid waste management engineering. Prentice Hall, capítulo 3.
41. Pfeffer, J. T. 1997. Solid waste management engineering. Prentice Hall, capítulo 5.
42. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA, Producción Limpia, 1997
43. Programa de Medio Ambiente 1995 – 2000. Estrategias Proyectos y Acciones Prioritarias. México. 128 – 130
44. Promoting waste recycling: facts and figures. 1998. UNEP MAGAZINE. marzo, 3 – 6.



5. Powell, D. M. 1994. Selecting Innovative Cleanup Technologies: EPA Resources. Chemical Engineering Progress, Mayo, 33 – 41.
6. Buy Recycled , Recycled Paper. 1998. U.S.A: Recycled Paper Coalition.
7. Seifert, P. 1994. Recent innovations in paper recycling. Tappi Journal. 77, 149- 152.
8. SEMARNAP, Eco-eficiencia, Industria de Imprenta y productos de papel. 1996. México.
9. Seltzer, R. 1995. Global environmental education project debuts. Chemical and Engineering News. 73, 9.
10. Soler J., et al. 1999. Durabilidad del papel reciclado de impresión y escritura. Ingeniería Química. Abril, 205 – 212.
11. Stahel, W. 1997. Transición de productos a servicios:venta de prestaciones en lugar de bienes, IPTS REPORT vol. 27
12. Sustainable production and consumption. UNEP Industry and Environment, julio – septiembre 1996, 4 – 5.
13. Swink, Denise F., 1996. Fostering “lean and clean” industries. Chemical Technology, 26, 10 – 14.
14. Thorpe Beverley, 1999. Citizen’s Guide To Clean Production. Montreal Canada: Clean Production Action, abril.
15. UNEP, A Training Resource Package, Cleaner Production in Pulp and Paper Mills capítulo 2, 1998.
16. UNEP, A Training Resource Package, Cleaner Production in Pulp and Paper Mills”, capítulo 3, 1998.
17. UNEP, Cleaner Production, Pulp and Paper Technologies. Technology Facts, 1997.
18. UNEP, Introducción a la Prevención de la Contaminación, Capítulo Uno: Introducción, Manual de Capacitación para el Proyecto para la Prevención de la Contaminación, 1998.
19. Valles, G., 1999. Nuevos aspectos de la recuperación de papel, Primeras consecuencias de la nueva legislación sobre envases y residuos de envases, Ingeniería Química, abril.
20. Van Berkel, R., 1997. New Horizons in Cleaner Production: a discussion note on



forgoing new alliances for the development and transfer of Cleaner Production Technologies and for financing their uptake in industry in developing countries, University of Amsterdam, October.

61. Van Berkel, R. 1997. The relationship between Cleaner Production and Industrial Ecology. Journal of Industrial Ecology. 1, 51 – 65.
62. Vincent F. 1995. The use of recovered fiber in food packaging. Tappi Journal. 78, 49- 75.
63. Von Lersner 1995. Outline for an ecological economy, countries can indeed prosper while protecting their environment. Scientific American, septiembre. 188.
64. Wiegand, P. S. 1994. Alternative management of pulp and paper industry solid wastes. Tappi Journal . 77, 91 – 97.
65. Wilcox, B. A. 1992. Defining sustainable development. Environ. Sci. Technol., 26, 1902
66. S. n. Secondary Fiber and Recycling. Wood Science and Forest Products.
67. Wrist, P. E. 1992. Sustainable development and its implications for the forest product industry. Tappi Journal . 75, 69 – 74.

## Referencias en Internet

68. Ambiente sin Fronteras (Revista) <http://www.uaci.mx/cema/num6/index.htm>
69. Centro de Apoyo al Desarrollo Sostenible (CADS) <http://www.cads.mty.itesm.mx>
70. CÉSPEDES <http://www.cespedes.org.mx>
71. Clean Technology Guides/Manuals <http://es.epa.gov/techinfo/research/cp1194c.html>
72. El Papel <http://www.amsystem.es/mjodar/pua/pua3.htm>
73. Environmental Protection Agency (EPA) <http://www.epa.gov>
74. Environmental Science and Technology  
<http://acsinfo.acs.org/journals/esthag/esthag.html>
75. Environmental Systems of America, Inc. <http://envirosystemsinc.com/paper.html>
76. Institute for Sustainable Development (IISDnet) <http://iisd.iisd.ca>
77. Institute of Paper Science and Technology  
[http://www.ipst.edu/amp/museum\\_recycling.htm](http://www.ipst.edu/amp/museum_recycling.htm)
78. Instituto Nacional de Ecología (INE) <http://www.ine.gob.mx>
79. National Center for Clean Industrial and Treatment Technologies  
<http://cpas.mtu.edu/cencitt>
80. Paper <http://www.hqpapermaker.com/paper.htm>
81. Publicaciones de las Naciones Unidas-Medio Ambiente <http://www.un.org>



2. Recycled fibers <http://www.recycledfibers.com>
3. Recycler's world <http://www.recycle.net/recycle/index.html>
4. Recycling world <http://www.tecweb.com/recycle/rwcont.htm>
5. Revistas <http://www.100-free-magazines.com/magazines/paper.htm>
6. Sonoco <http://www.sonoco.com>
7. Tappi Journal [http://tappi.org/public/tappi\\_journal.asp](http://tappi.org/public/tappi_journal.asp)
8. Tecnologías Limpias <http://www.usaep.org/reports/pulp.html>
9. The Environmental Technology, business, and clean-up network  
<http://www.unep.or.jp/ietc>
0. UNEP/PNUMA <http://www.rolac.unep.mx>
1. UNESCO <http://www.unesco.org>
2. Universidad Nacional Autónoma de México <http://www.unam.mx>

### Fuentes Consultadas

E 19543480  
P 2,304,695  
S 4,773,918  
S 5,358,605  
S 5,069,751  
S 5,742,756  
S 6,210,648