LAS MEJORES TECNOLOGIAS DISPONIBLES O BAT : BEST AVAILABLE TECHNIQUES

*La preocupación por el impacto ambiental de las fábricas de pasta y papel está tensando el debate Industria/Medioambiente. En este artículo la Dra. Mª Cristina Area, ha querido clarificar algunos aspectos de la situación actual de la fabricación de la celulosa y su impacto ambiental. El artículo forma parte de una conferencia amplia sobre "Tecnologías Limpias para la Producción de Pulpa y Papel de Eucalyptus".**

La industria de la pulpa y papel viene respondiendo vertiginosamente a las demandas ambientales de la sociedad. Desde el año 2000 se ha trabajado mucho a nivel internacional, en la investigación y aplicación de modificaciones a procesos existentes y en el desarrollo de nuevos procesos, cada vez más compatibles con el medio ambiente.

Las regulaciones ambientales para la industria de pulpa y papel se han uniformizado desde los años 90 en el mundo, aunque todavía existen grandes diferencias. En los países con regulaciones ambientales rigurosas se ha introducido el concepto de las "mejores tecnologías disponibles" (BAT) para identificar a las industrias con mejor funcionamiento ambiental, y tomarlas como base (actual) de comparación.

El término "mejor tecnología disponible" se tomó para identificar a la última etapa de desarrollo disponible (es decir, el "estado del arte" práctico) de las instalaciones, los procesos, o los métodos de operación, que indican la adecuación práctica de un proceso u operación particular, para limitar las descargas.

Se consideran también la viabilidad económica de los métodos del control de la contaminación, los tiempos límites de aplicación y la naturaleza y los volúmenes de las descargas involucradas.[1]

Como la fabricación de papel no es un proceso único sino una serie de procesos, usualmente interdependientes, son necesarias varias BATs para las distintas clases de fábricas. Las BATs pueden combinarse de diferentes formas, por lo que puede llegarse a los mismos niveles de emisión con diferentes tecnologías. Como hay que evaluar el proceso integrado, son importantes tanto las materias primas, como el producto final.[2]

Una fábrica de pulpa con mínimo impacto ambiental, entre otras cosas:

- Reduce al mínimo el número de los árboles usados para hacer papel.
- Maximiza la producción energética de la biomasa.
- Reduce al mínimo las emisiones al aire, el consumo de agua y la basura sólida.
- Produce papel de alta calidad, fácilmente reciclable.

Sin embargo, la protección del ambiente no debiera estar limitada al uso de las BAT. Si bien debe verificarse la performance de las BAT, es también necesario evaluar el real impacto de la fábrica sobre la salud pública y la calidad del ambiente local. Por esto es que debe realizarse obligatoriamente una evaluación del impacto ambiental de las fábricas. El funcionamiento de las BAT tampoco debiera usarse automáticamente para establecer los límites de emisión.

PROCESO KRAFT: ¿UNA TECNOLOGÍA LIMPIA?

La fabricación de pulpa kraft cuenta con un sistema de recuperación de reactivos, que además de minimizar su descarga al efluente, genera la energía que necesita la fábrica para funcionar.

Las propuestas más actuales para transformar al proceso kraft en una tecnología limpia se han tratado en Comités Internacionales realizados al efecto. Por ejemplo, la comisión de Helsinki, en el año 2004, dentro de las "Acciones para limitar las emisiones y descargas" (*Actions to limit emissions and discharges from land-based sources*), incluye, por ejemplo[3] (ver cuadro):

[1] *Petri Vasara, Hannu Jappinen and Pia Lobbas, A Strategic Concept for Best Available Techniques in the Forest Industry, Helsinki, 2001.*
[2] *The Sevilla Process – A driver for environmental performance in industry. Stuttgart, 6-7 April 2000.*
[3] *Production of Pulp and Paper (related HELCOM Recommendations 16/4, 17/8, 17/9)* - proposal by Germany. Helsinki Commission Helcom Land 9/2004, Agenda Item 5 Actions to limit emissions and discharges from land-based sources, Document code: 5/1 Date: 06.05.2004 Submitted by: Germany, Land-based Pollution Group, Ninth Meeting, Tallinn, Estonia, 24-26.5.2004.*

1) PS (priority substances) y nutrientes relevantes emitidos por el sector	2) Fuentes (s) de emisión	3) Medidas BAT	4) Niveles de emisión asociados a las BAT
Posibles dentro de las descargas de AOX (ej. dioxinas)	a) Proceso de pulpado Kraft	Blanqueo libre de la cloro elemental (ECF) con bajos AOX o totalmente libre de cloro (TCF); Reciclo de algunas aguas de proceso, principalmente las aguas alcalinas de la planta de blanqueo; Sistema eficaz de supervisión de derrames, de contención y de recuperación; Reutilización de los condensados de la planta de la evaporación; Disposición de tanques de almacenamiento intermedios suficientemente grandes para el almacenamiento de los licores derramados de las cocciones, de recuperación y de condensados sucios para prevenir picos ocasionales repentinos de carga a la planta de tratamiento de efluentes. Además de medidas integradas al proceso, al tratamiento primario y biológico consideradas BAT para las fábricas Kraft.	Pulpa blanqueada, <0,25 kg AOX/Adt (tonelada seca al aire de papel producido)
N Total en las descargas	a) Proceso de pulpado Kraft b) Proceso al sulfito	Ver arriba	a) 0,1 – 0,2kg/Adt b) 0,15 – 0,5kg/Adt
P total en las descargas	a) Proceso de pulpado Kraft b) Proceso al sulfito	Ver arriba	a) 0,01 – 0,02kg/Adt b) 0,02 – 0,05kg/Adt
Emisiones de polvillo	Venteos de evaporadores y diusores: a) Proceso de pulpado Kraft b) Proceso al sulfito	Ej. limpieza de los humos de las calderas auxiliares con precipitadores electrostáticos eficientes para atenuar emisiones del polvo; Optimización de la emisión de la incineración de residuos con recuperación de la energía	a) 0,2 – 0,5kg/Adt b) 0,02 – 0,15kg/Adt
NOx	a) Proceso de pulpado Kraft b) Proceso al sulfito	Control de emisiones de NOx de la caldera de recuperación (ej. Asegurar un mezclado apropiado y division del aire en la caldera), horno de cal y calderas auxiliaries contralando las condiciones de ignición, y con el diseño adecuado en instalaciones nuevas o modificadas	a) 1,0 – 1,5kg/Adt b) 1,0 – 2,0kg/Adt

Esta información está relacionada con procesos genéricos; los procesos de producción individual están cubiertos en el documento de referencia de las Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry, IPPC Bureau, Seville, Dec. 2001.

EL CONVENIO DE ESTOCOLMO SOBRE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES (COPs)[4]

El Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (*Persistent Organic Pollutants, POPS*) reconoce que los contaminantes orgánicos persistentes tienen propiedades tóxicas, son resistentes a la degradación, se bioacumulan y son transportados por el aire, el agua y las especies migratorias a través de las fronteras internacionales y son depositados

[4] *Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes http://www.pops.int/documents/convtext/convtext_sp.pdf. Consulta: septiembre 2005.*

lejos del lugar de su liberación, acumulándose en ecosistemas terrestres y acuáticos.

Dado que la exposición local a estos contaminantes genera problemas de salud, se establece la necesidad de adoptar medidas de alcance mundial para prevenir sus efectos adversos en todos los estados de su ciclo de vida.

El Artículo 5 se refiere a las medidas para reducir o eliminar las liberaciones derivadas de la producción no intencional. En el caso de la industria de pulpa y papel, los contaminantes orgánicos persistentes que se forman y se liberan de forma no intencional a partir de fuentes antropogenias (atribuidas a la actividad humana) son, según el Anexo C:

- Dibenzoparadioxinas y dibenzofuranos policlorados (PCDD/PCDF)
- Hexaclorobenceno (HCB)
- Bifenilos policlorados (PCB)

Las Partes firmantes (Argentina suscribió) se comprometen a adoptar medidas para reducir las liberaciones totales derivadas de fuentes antropógenas de cada uno de los productos químicos incluidos, con la meta de seguir reduciéndolas al mínimo y, en los casos en que sea viable, eliminarlas definitivamente.

En principio, deben elaborar en un plazo de dos años (y aplicar ulteriormente), un plan de acción destinado a identificar, caracterizar y combatir la liberación de los productos químicos incluidos. El plan de acción deberá incluir un relevamiento de la situación actual y una evaluación de las leyes y políticas existentes. Deberán fijar estrategias para cumplir el compromiso asumido y promocionar el tema. Finalmente, se comprometen a establecer un cronograma de aplicación y realizar un seguimiento quinquenal del proceso.

El acuerdo implica la exigencia de utilización de materiales, productos y procesos sustitutivos o modificados para evitar la formación y liberación de los productos químicos mencionados. Requiere, asimismo, el empleo de las mejores técnicas disponibles y de las mejores prácticas ambientales (combinación más adecuada de medidas y estrategias de control ambiental).

Entre las pautas de adaptación de la industria de pulpa y papel a las pautas del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, enero 2005, pueden señalarse.[5]

Fábricas de pulpa Kraft marrón

Para reducir las emisiones al aire:
- Instalación de lavadores de gases (scrubbers) en la caldera de recuperación,
- Recolección e incineración de gases malolientes de la caldera y del horno de cal,
- Caldera con baja emisión de olor (recuperación),
- Instalación de precipitadores de partículas en la caldera de recuperación,
- Uso de calderas de potencia y horno de cal con baja emisión de NOx.

Para reducir las descargas al agua:
- Descortezado seco,
- Deslignificación extendida (menos lignina a blanqueo),
- Deslignificación con oxígeno,
- Lavado exhaustivo y eficiente,
- Cerramiento de circuitos agua,
- Tratamiento primario, secundario y terciario de efluentes.

Para disminuir el consumo de energía:
- Aprovechamiento de residuos.

Fábricas de pulpa Kraft blanqueada

Se requieren las Mejores Tecnologías Disponibles (Best Available Technology, BAT). Se realiza una diferenciación entre las fábricas existentes y las nuevas (a instalar: *greenfield*).

Blanqueo ECF:

Para Fuentes Existentes: Opción A:
- Control de espesor de chips (astillas),
- Depuración en circuito cerrado, derivando los filtrados a la planta de recuperación,
- Antiespumantes libres de dioxinas,
- Optimización del lavado de la pulpa marrón hasta extraer 99% de los químicos para su recuperación (10 kg Na_2SO_4/adt),
- Etapa de extracción reforzada con oxígeno o peróxido (Eo, Ep) para eliminar todas las etapas C (cloro) y H (hipoclorito) y minimizar a los precursores de dioxinas,
- Mezclado eficaz de reactivos (high shear),
- Tratamiento biológico de efluentes para extraer el 90% de la DBO5.

Para nuevas Fuentes, Opción B:
- Opción A, más extracción extendida de la lignina en forma de deslignificación extendida y/o deslignificación con oxígeno.

En los documentos asociados a la Convención de Estocolmo se encuentran descritas detalladamente cada una de las tecnologías recomendadas y las posibilidades de mejora para todos los tipos de pulpado y de fábricas de papel.[6]

DEBATE SOBRE BLANQUEO: ¿ECF O TCF?

La planta de blanqueo es la principal fuente de contaminantes de las fábricas de pulpa y papel kraft (50-75% del efluente total). Produce 40% de la demanda biológica de oxígeno (BOD), 25% de los sólidos suspendidos (SS), 70% del color, y la totalidad de los compuestos organoclorados (TOC).

La cantidad y naturaleza de los contaminantes varía según la secuencia utilizada, especie de madera y proceso de pulpado. Los reactivos de blanqueo en general no se recuperan y son descar-

[5] *Advance Draft, Guidelines on best available techniques and provisional guidance on best environmental practices relevant to Article 5 and Annex C of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants, December 2004.*

[6] *European Commission, "Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry", December 2001.*
http://www.pops.int/documents/meetings/bat%5Fbep/2nd%5Fsession/inf3/batbeppage/Pdf/CEEBrefP&P.pdf Consulta: septiembre 2005.

gados luego del tratamiento de efluentes. Por esto, la industria se orienta actualmente al cierre casi total de circuitos de agua de la fábrica, incluyendo a la planta de blanqueo.

Los AOX (Adsorbable Organic Halogen), que son las dioxinas y furanos, indican la cantidad de cloro contenida en los compuestos orgánicos adsorbibles en los tejidos orgánicos (clorofenoles, tetracloro-p-dibenzodioxina (TCDD), tetraclorodibenzofuranos (TCDF), y otros. Se cree que estos compuestos son tóxicos, genotóxicos y mutagénicos. A mediados de los años 80, la eliminación media de AOX en un efluente era de 8 kg/t pulpa. Para reducir la cantidad de lignina expuesta al cloro, aumentando la deslignificación de la pulpa antes del blanqueo, se desarrollaron la deslignificación extendida y la deslignificación con oxígeno.
La eliminación del cloro elemental se llevó a cabo sustituyéndolo por otros reactivos, tales como el dióxido de cloro, el peróxido de hidrógeno y el ozono, generando nuevas secuencias de blanqueo. Estas secuencias se denominan ECF (blanqueo libre de cloro elemental), que emplea dióxido de cloro en lugar de cloro elemental, y TCF (blanqueo totalmente libre de cloro), que incluye el uso de reactivos químicos no clorados, basados en oxígeno (ozono y peróxido de hidrógeno), obteniendo un producto más amigable con el ambiente.

En las pulpas tratadas con cloro elemental como agente de blanqueo, se forman grandes cantidades de compuestos organoclorados, tales como dioxinas, furanos y otros. La reacción electrofílica de substitución aromática forma muchos de los compuestos persistentes, tóxicos, y bioacumulativos, pues el cloro reacciona con la lignina residual presente en la pulpa.

En contraste, cuando se utiliza el dióxido de cloro en la primera etapa de blanqueo de la pulpa se produce una reacción de oxidación, rompiendo la estructura anillada de la lignina y produciendo compuestos orgánicos solubles en agua (hidrofílicos), no bioacumulativos ni persistentes.

Durante la reacción del dióxido de cloro con la lignina se producen los compuestos hipoclorosos. Estos compuestos existen en equilibrio con el cloro elemental. La concentración de equilibrio del cloro depende de muchos factores, incluyendo el pH del sistema. La presencia de cantidades mínimas de cloro en el entorno de la reacción es el caballito de batalla para los defensores del TCF. Sin embargo, no hay evidencia de la producción de TCDD en el laboratorio o en las fábricas ECF. Esto indica que las reacciones en competencia favorecen la reacción de oxidación, y no las reacciones de la substitución.

Los defensores del proceso ECF señalan que[7]:

- No existen diferencias mensurables en los ambientes acuáticos con vertidos de fábricas ECF o TCF tratados con un tratamiento secundario biológico.
- Ni las tecnologías ECF ni las TCF formaron niveles mensurables de dioxinas en sus procedimientos de blanqueo respectivos.
- Las pulpas TCF son más débiles, menos blancas y más costosas de producir que las pulpas ECF. Por esto, los productos fabricados (sobre todo papeles de embalaje) son generalmente más fibra intensiva (es decir, requieren más árboles) que los productos similares producidos con pulpas ECF. Independiente de se trate de recursos renovables, la economía simple favorece a los productos menos fibra-intensivos.

Esta evidencia apoyó fuertemente la conclusión que la tecnología de ECF es más ambientalmente y económicamente compatible que tecnologías TCF.
La eliminación de dioxinas ha contribuido en la recuperación sostenible de ecosistemas acuáticos afectados a través del mundo[8]. Las alertas de consumo de pescados, río abajo de las fábricas de pulpa y papel están desapareciendo rápidamente. Desde 1990, las autoridades de diferentes estados en USA han emitido alertas de dioxinas en 25 ecosistemas río abajo de las fábricas de pulpa y papel, representando el 83% de estos ecosistemas. En 2003, solamente 10 ecosistemas tienen alarma de dioxinas. La EPA predice que todas las alarmas se levantarán cuando la totalidad de los sistemas de blanqueo se convierta a ECF.

Según un estudio medioambiental de 2002 sobre tendencias de producción, las pulpas ECF siguen con el 75% en el mercado mundial de pulpas blanqueadas. Reconociendo el buen funcionamiento del blanqueo ECF y su compatibilidad ambiental, los Estados Unidos y la Comunidad Europea basaron las pautas y regulaciones en esta tecnología como componente base de las BAT. Estas regulaciones y pautas aseguran la conformidad con la convención internacional sobre los agentes contaminadores orgánicos persistentes, establecidos en el tratado de Estocolmo.

Este artículo forma parte de una conferencia amplia titulada "Tecnologías Limpias para la Fabricación de la Celulosa y Papel de Eucalyptus", que fue dictada por M.C. Area durante las XX Jornadas Forestales de Entre Ríos, celebradas en Concordia el pasado mes de Octubre.
En El Papel nº 123 de Enero 2006 (pag.58-61) se publicó una parte de la conferencia, bajo el título "Tecnologías Limpias de Producción de Pulpas de Eucalyptus".

AUTORES
LA DRA. MARIA CRISTINA AREA
(PhD., MSc, Ing. Qca.) es Directora del Programa de Investigación de Celulosa y Papel (PROCYP) y Directora del Instituto de Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible (ICADES).
Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales – Universidad Nacional de Misiones, en Argentina.
Tel/Fax: 54-3752- 422198 - m_c_area@fceqyn.unam.edu.ar

Rodear con un círculo el nº 178 en la tarjeta de información

[7] *Dierdorf, T. "International Paper Follows Science in ECF, TCF Choice", Pulp and paper, Volume 71, Issue 10, October 1997.*
[8] *Alliance for Environmental Technology (AET), "ECF: The Sustainable Technology" http://www.aet.org/epp/ecf_brochure.pdf. Consulta: septiembre 2005.*