

## La contaminación de la industria de pasta-papel en Galicia: un análisis de flujos de materiales y energía

\*DOLDÁN GARCÍA, X.R. y \*\*CHAS AMIL, M<sup>a</sup> L.

*\*Dpto. de Economía Aplicada. \*\* Dpto. de Métodos Cuantitativos para a Economía e a Empresa. Facultade de Ciências Económicas. Universidade de Santiago de Compostela.*

Tel.: 981 563 100 Ext. 11573-Fax: 981 547 036- \*E-mail: eadoldan@usc.es

### RESUMEN

Este estudio analiza, en términos físicos, los flujos de materiales y energía en la fabricación de pasta-papel en Galicia, que está encuadrada en el grupo de actividades industriales más contaminantes. La contabilización física de las interrelaciones entre actividades económicas, de los recursos naturales utilizados y de los residuos emitidos, complementa el tratamiento convencional en términos monetarios. El método aquí utilizado podría aplicarse de igual forma para otras industrias. Desde esta perspectiva podemos conocer mejor los costes ambientales de cada actividad industrial lo que permitiría actuar en la consecución de producciones menos contaminantes y agresivas con el entorno.

*Palabras clave:* papel y cartón, energía, materiales, medioambiente.

### ABSTRACT

This study analyzes, in physical terms, materials and energy flows, for the paper and paperboard industry in Galicia, which is considered among the most polluted industrial activities. The physical accounting of interrelations among economic activities -natural resources used and residues generated- complements the conventional treatment given in monetary terms. The approach used in this study has benefits for many other industries beyond the paper industry. Its benefits lie first in being able to pinpoint the environmental costs of any industrial activities, and second, work to promote means of production that are less harmful to the environment.

*Keywords:* paper and paperboard, energy, materials, environment.

Código UNESCO: 530399, 530407, 531208

Artículo recibido el 15 de febrero de 2000. Aceptado el 27 de julio de 2000.

## 1. Introducción

Las relaciones económicas están condicionadas por el hecho de desenvolverse en un determinado entorno natural, pero los enfoques económicos más convencionales tienden a

olvidarse de este aspecto, insistiéndose en la ficción de un crecimiento económico ilimitado, aun cuando cada vez resulta más obvio la necesidad de prestar atención a los recursos naturales, sin los que no podríamos obtener ni manufacturas ni servicios. Por otra parte, tampoco debemos cerrar los ojos a la evidencia de los residuos que la actividad económica genera, dentro de un medio que muestra límites a su capacidad de absorción. Resulta, por ello, imprescindible disponer de una contabilización adecuada de los recursos naturales utilizados, de las compras de materiales y energía, y de los residuos generados.

En este trabajo pretendemos llevar a cabo un análisis de los flujos de materiales y energía en la industria de pasta-papel gallega para lo cual analizaremos, en primer lugar, los problemas medioambientales más importantes asociados a esta industria. En segundo lugar describiremos la metodología empleada para, posteriormente, aplicarla al sector que nos ocupa. Finalmente, se resumen las conclusiones más importantes de este trabajo.

## 2. Problemas ambientales de la industria de pasta-papel

Desde el punto de vista del impacto ambiental, la industria de pasta y papel se encuentra en una situación paradójica. Por un lado, sus productos cumplen la mayoría de los criterios ambientales de los productos manufacturados: (a) se producen con materias primas recicladas (papel recuperado) y renovables (madera); (b) son degradables y, en gran medida, reciclables y (c) pueden destruirse sin demasiados efectos adversos. Pero, por otra parte, la industria de pasta-papel es una gran consumidora de agua y energía, emplea productos químicos nocivos y contribuye significativamente a la contaminación del aire y del agua. En los últimos años esta industria se ha encontrado con una creciente oposición por razones medioambientales y, en particular, por aspectos relacionados con el origen de la **madera** empleada y la forma de gestionar los bosques. Según datos del International Institute for Environment and Development (IIED) (1996), casi el 20% de la madera utilizada en la fabricación de pasta de papel procede de bosques naturales originales y el 29% de plantaciones. La expansión de masas monoespecíficas está generalmente asociada a la expansión de las plantaciones, con consecuencias importantes por reducir la biodiversidad y la diversificación de usos industriales de la madera, con la consiguiente dependencia económica que esto supone y el riesgo que se deriva de tal especialización. En Europa se ha venido observando un desplazamiento del uso de las plantaciones de coníferas del norte hacia las plantaciones de frondosas, eucalipto, del sur<sup>1</sup>.

---

1. En Chile, Brasil y en la Península Ibérica, especialmente Galicia y Portugal, los rendimientos son muy elevados en relación a los de los países nórdicos. En Suecia, por ejemplo, el crecimiento medio anual de la picea y el pino es de 4,5 m<sup>3</sup>/ha/año en comparación con los 25 m<sup>3</sup>/ha/año del pino radiata en Chile, o los 22 y 70 m<sup>3</sup>/ha/año del eucalipto en Galicia y Brasil, respectivamente.

Un suministro seguro de **agua** de buena calidad sigue siendo un componente esencial para cualquier operación convencional del proceso de fabricación de pasta y papel. Hasta 1965, una fábrica de pasta kraft blanqueada utilizaba una media de 170 m<sup>3</sup> de agua por cada tonelada de pasta producida, y una fábrica de papel prensa típica utilizaba unos 58 m<sup>3</sup> por cada tonelada de producto acabado, Smook (1990)<sup>2</sup>. En los últimos años, estas cifras se han reducido significativamente en virtud de un reciclado más efectivo de los efluentes, una utilización más completa de las corrientes secundarias y la recuperación de condensados contaminados. Además, con la utilización de papel recuperado puede reducirse la cantidad necesaria de agua dependiendo del método de destintado empleado.

La industria de pasta y papel es también intensiva en el uso de **energía** como fuerza motriz, como generador de calor para secado, etc. Se estima que es el quinto sector industrial con mayor consumo de energía, representando el 10% de todo el consumo industrial y un 4% del consumo total mundial, IIED (1996). Ewing (1985) estimó que la producción de una tonelada de papel requería en media una cantidad de energía equivalente a 0,75 toneladas equivalentes de petróleo (Tep), mientras que Del Val (1993) habla de entre 0,4 e 0,7 Tep si se parte de madera y de 0,15 a 0,25 Tep si se emplea papel recuperado. Las diferencias dependen del tipo de proceso y de la calidad del papel fabricado.

Desde la mitad de los años setenta las necesidades de energía por unidad de output han ido disminuyendo constantemente. No obstante, la energía sigue constituyendo un importante coste de manufactura (hasta el 20%) en el caso de los productos con bajo valor añadido, tales como el papel prensa y otros papeles con alto contenido en pasta mecánica. La energía eléctrica empleada en las operaciones de las fábricas de pasta y papel es típicamente una combinación de energía comprada y autogenerada en instalaciones hidráulicas y térmicas. Además, gran parte de las mejoras observadas desde el punto de vista de la eficiencia energética sugieren que los avances tecnológicos han influido mucho en la moderación en el consumo de energía. En la actualidad, la industria está empleando la cogeneración, proceso por el cual se genera electricidad a la vez que se utiliza el calor desprendido en la transformación y que en otros procesos se pierde en forma de contaminación térmica<sup>3</sup>.

La biología de la madera y el proceso de pulpeado tiene como resultado unos **efluentes** complejos que contienen gran cantidad de sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas y sólidos en suspensión. Los principales focos de contaminación del efluente son: agua usa-

---

2. ENCE (Pontevedra) pasó de consumir, en 1992, 86 m<sup>3</sup>/t a consumir, en 1996, 48 m<sup>3</sup>/t (ENCE, 1997). Asenjo (1994) habla de entre 10 y 30 m<sup>3</sup>/t en las papeleras españolas.

3. Un buen ejemplo se observa en la fábrica de Enso Española en Barcelona, donde un 70% de la energía producida (51 MW) se vende a la red local. En 1996, ENCE (Pontevedra) instaló una nueva planta de generación de energía que emplea corteza y vapores de alta presión que le permite ser excedentaria de energía. Actualmente, el 20% de la producción total de cogeneración en España procede del sector papelero (Expansión, 12/6/97).

da en el manejo de la madera y descortezado, condensados del digestor y evaporador, agua blanca de la clasificación y depuración, filtrados de los lavadores de la planta de blanqueo, agua blanca de la máquina de papel, derramamientos de fibras y licores de todas las secciones, Smook (1990). No obstante, el mayor efluente líquido proviene del proceso de blanqueo que contiene entre 40-50 Kg. de sustancias orgánicas (principalmente lignina) por tonelada de pasta. La polución derivada del proceso de pulpeado mecánico es generalmente mucho más baja aunque los efluentes también contienen sólidos en suspensión y algunas sustancias tóxicas derivadas de la propia madera. Todos estos efluentes, si son vertidos sin ningún tipo de tratamiento, tienen un importante impacto en las aguas generando problemas de turbidez, color, sabor y olor derivados de la presencia de materias en suspensión insolubles, sustancias orgánicas e inorgánicas solubles y aditivos tóxicos.

El blanqueo es la principal fuente de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno)<sup>4</sup> y de ciertos compuestos organoclorados (AOX), llegándose a identificar más de 300 diferentes. El cloro y sus compuestos, tales como el dióxido de cloro y el hipoclorito de sodio, se han empleado durante mucho tiempo para deslignificar y blanquear las pastas madereras químicas con un bajo coste y un mínimo impacto sobre la resistencia de la pasta. No obstante, con el descubrimiento de dioxinas en los efluentes de las fábricas de pastas kraft blanqueadas, se identificó el uso de cloro como el origen de la toxicidad de los efluentes. Para eliminar los problemas mencionados se ha propuesto la recuperación de los efluentes de la planta de blanqueo. De esta manera, puede volver a pensarse en la aplicación del ciclo cerrado (CLB: Closed Loop Bleaching) llevando al proceso TEF (Total Effluent Free- Totalmente libre de efluente). Por otro parte, se han empleado sistemas alternativos de blanqueo dentro de los cuales se pueden distinguir, ECF (Elemental chlorine free- Libre de cloro elemental) y TCF (Totally chlorine free- Totalmente libre de cloro)<sup>5</sup>.

Las **emisiones atmosféricas** de las fábricas de pasta y papel son habitualmente consideradas menos importantes que los efluentes líquidos. No obstante, la industria de pasta y papel contribuye significativamente a la contaminación del aire cuando se compara con otros sectores industriales<sup>6</sup>. Las fábricas de pasta, especialmente pasta química al sulfato

---

4. DBO indica la cantidad de oxígeno que los microorganismos absorben en los procesos de degradación de la materia orgánica. En el caso de vertidos industriales, hay que considerar que pueden contener sustancias químicas reductoras u oxidantes por lo que se hace necesario emplear otra unidad. DQO, cantidad de oxígeno consumido por combinaciones reductoras sin intervención de microorganismos.

5. ECF: Sustitución del gas cloro por dióxido de cloro como principal agente blanqueador. TCF: Es una tecnología desarrollada a partir del hallazgo en Alemania de dioxinas en los filtros de café y en otros productos higiénicos, que no utiliza cloro en ninguna de sus formas.

6. En los Estados Unidos, los datos de la EPA (Environmental Protection Agency) para 1988 indicaban que el sector de pasta, papel y cartón ocupaba el segundo lugar en cuanto a emisiones de dióxido de carbono por unidad de output de entre los 74 sectores manufactureros considerados. En cuanto a otras

(kraft), son responsables de la emisión de ciertas partículas pero especialmente de gases sulfurosos. Los principales contaminantes del aire son las partículas finas, partículas gruesas, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, gases de azufre y componentes organovolátiles. Los esfuerzos, por lo tanto, para la reducción de la contaminación atmosférica conciernen al control de las emisiones gaseosas y de partículas. El control del olor, especialmente en las fábricas de pasta kraft, es quizá la tarea más difícil a la que se enfrenta la industria.

Los **residuos sólidos** (cenizas y lodos especialmente) generados por la industria de pasta papel quizá sea el aspecto al que menos atención se ha prestado. En el pasado, el volumen de residuos sólidos generados llegaba a alcanzar los 250 kg. por tonelada de pasta. No obstante, en la actualidad, muy pocas fábricas generan esa cantidad no superando en algunos casos los 10 Kg. por tonelada, IIED (1996)<sup>7</sup>. Los residuos sólidos no están normalmente considerados como peligrosos por lo que su destino habitual son los vertederos. Los principales problemas que se pueden generar están relacionados con el espacio requerido, las materias orgánicas que contienen y los lodos procedentes de los procesos de blanqueado.

### 3. Las cuentas de flujos de materiales, energía y residuos

Las referencias al medio y a la ecología son cada vez más frecuentes en el ámbito económico. Los recursos naturales y los residuos son dos temas imprescindibles en el análisis de una economía y su gestión es parte fundamental de la toma de decisiones. Esta gestión necesita, entre otras cosas, de una adecuada contabilización, tanto de los recursos naturales utilizados como de los residuos generados, con el fin de integrar las variables ecológicas y económicas. Para hacer esta contabilización podría pensarse en la utilización del marco referencial y metodológico del Sistema de Contabilidad Nacional, sin embargo se observan grandes limitaciones, Doldán (1999). Así, los flujos de materiales son considerados según su transformación en flujos monetarios y los recursos naturales serán recursos económicos sólo en el caso de ser susceptibles de uso más o menos inmediato (dentro de los parámetros en los que se mueve la economía del momento) y susceptibles de cambio. Al desplazar hacia fuera de la economía a los recursos agotados la contabilización de los mismos pierde sentido. De la misma manera, la producción de residuos, por no estar dirigida al mercado, es considerada una deseconomía.

---

emisiones, el sector quedaba clasificado en tercera posición por los niveles de dióxido de azufre emitidos, cuarto respecto a la emisión de dióxido de nitrógeno... (IIED, 1996).

7. En 1996, ENCE-Pontevedra generó 37 kg. de residuos sólidos por tonelada de producto (ENCE, 1997).

Por medio de un modelo de flujos que describan los materiales, la energía, los residuos, y que recojan las contrapartidas monetarias que existen en un territorio determinado, podemos acercarnos bastante bien a una representación de la realidad. Es de especial interés la cuantificación de los flujos físicos para las actividades industriales por tener un gran impacto sobre el medio. El cálculo de ratios de consumo de materiales, energía y de residuos generados por tonelada producida en cada sector, si se realiza en años sucesivos, puede ser un buen indicador de la evolución del coste físico de la producción (su inverso nos mediría la eficiencia) y la productividad.

El principio de conservación de la materia y de la energía resulta básico para la construcción de los diagramas de flujo, con el podemos concluir que todo material y energía que entra en cualquier sector productivo o utilizador y que no se incorpora a los objetos específicos que se derivan de su actividad, para ser intercambiados, autoconsumidos o almacenados, sale de este sector en forma de residuo. La suma de inputs de materia y energía, en términos físicos, se igualará con la suma de los productos y de los residuos<sup>8</sup>.

Al ser todos los procesos irreversibles (estos sólo pueden suceder con un aumento de entropía en el sistema) la materia y la energía pierden calidad. Es decir, inevitablemente todos los procesos utilizadores de materia y energía producen algún tipo de residuos. Así podemos escribir el proceso como:

$$M + E = P_v + R + C \quad (1)$$

donde  $M$  y  $E$  son los materiales y la energía utilizados,  $P_v$  es el producto fabricado (producción vendible),  $R$  son los residuos producidos y  $C$  el calor perdido o contaminación térmica. La igualdad (1) puede expresarse de una forma más precisa manteniendo el respeto al principio de conservación de la energía,

$$M + P_r + E = P_t + R + C \quad (2)$$

donde  $P_r$  es la producción reemplazada y  $P_t$  es el material transformado objeto del proceso siendo,

$$P_t = P_r + P_v$$

Por otro lado podemos decir que es muy poca la energía que se incorpora al producto, por lo que podríamos considerar que  $E = C$ , es decir, casi toda la energía utilizada deriva en

---

8. Ver Frías (1993) y (1994).

contaminación térmica, de manera que la ecuación a utilizar puede referirse en exclusiva a los materiales,

$$M + P_r = P_r + P_v + R \quad (3)$$

siendo  $R = M - P_v$

Esto sirve para saber, con una cierta aproximación, la cantidad total de residuos generados por cada actividad. Además, descendiendo al nivel de proceso de fabricación, podemos conocer las características específicas de los residuos (si son sólidos, líquidos o gaseosos), y contando con las tablas de la energía pueden calcularse las emisiones atmosféricas, según los combustibles utilizados.

Al trabajar con términos físicos la unidad común utilizada será la tonelada para los materiales, y las toneladas equivalentes de petróleo para la energía. En el caso de los flujos de agua, se hace de manera parecida distinguiendo que parte se incorpora al producto final o se evapora, y que parte es vertida como residuo.

La agregación de los diversos materiales utilizados, expresados en una unidad común de medida resulta útil ya que podemos comprender mejor las dimensiones reales de los procesos. Los diagramas de flujos facilitan una visión sintética y de conjunto de la utilización de los recursos naturales, de su procedencia y de su destino final, así como de las principales interacciones y dependencias que ocurren entre las diferentes partes de los sistemas económicos<sup>9</sup>.

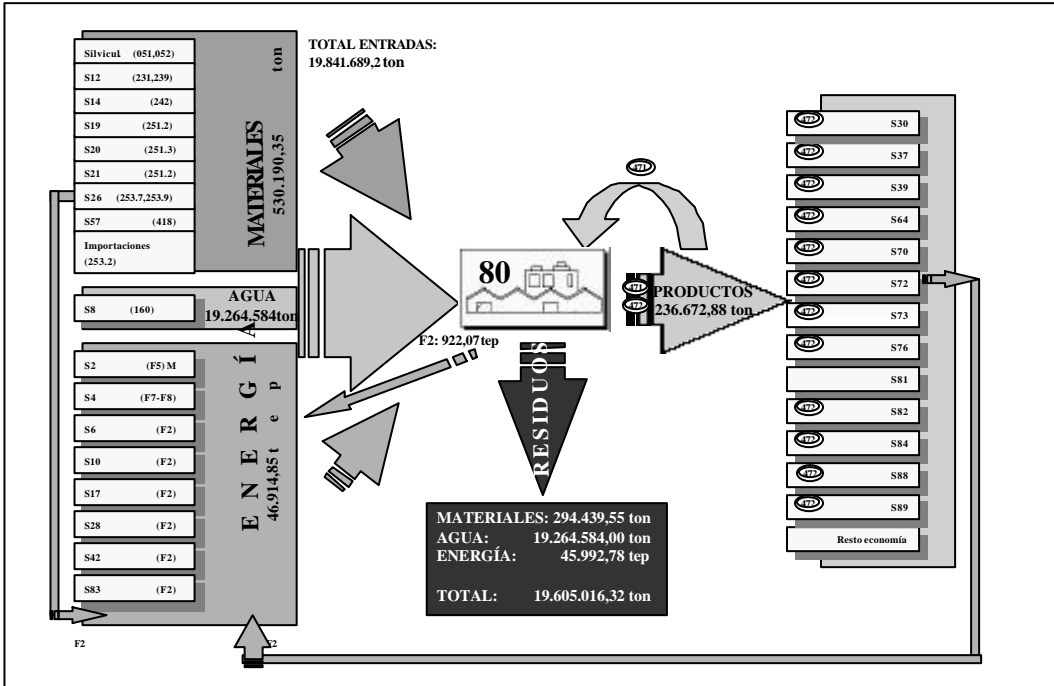
#### 4. Aplicación a la Industria de pasta y papel en Galicia

Este trabajo está centrado en el estudio del Sector de Fabricación de pasta, papel y cartón en Galicia (Sector 80 en la *Encuesta Industrial*, 471 y 472 de la *Clasificación Nacional de Actividades Económicas*). Se precisa de información desglosada, en términos físicos y monetarios, de las compras de materiales y energía, de reemplazos y producción destinada a la venta que hemos obtenido de la base de datos que se emplea para la publicación del INE *Encuesta Industrial*. La recogida de información que se realizaba hasta 1993 permitía conocer de forma pormenorizada el tipo de materiales y combustibles utilizados por cada uno de los sectores. El cambio en la metodología en la elaboración de la *Encuesta Industrial* a partir de ese año obliga a que tengamos que trabajar con datos referidos a 1992.

---

9. Fue fundamental para nuestro estudio la obra de Naredo y Frías (1988), si bien nuestro trabajo está centrado en el análisis de un sector industrial concreto.

**Figura 1: Flujos de materiales y energía en la industria de pasta-papel en Galicia, 1992.**  
Ver leyenda



A pesar de que hasta 1993 la *Encuesta Industrial* contenía información valiosísima para realizar un trabajo de estas características, no resuelve todos los problemas de cómputo con los que nos hemos encontrado. Hay que tener en cuenta que esta publicación recoge la información en base a encuestas, desde una perspectiva que va más orientada a cubrir el espacio económico español que el gallego, si bien los datos para Galicia pueden obtenerse con un pequeño ajuste. Un problema adicional es que en términos físicos la información viene dada en unidades de medida diferentes, por lo tanto hay que aplicar tablas de conversión (no siempre fáciles de obtener) para reducir todo a una unidad homogénea. Frente a la idea de que hacer esto es muy difícil, cuando no imposible (se evitaría utilizando la valoración monetaria), las leyes de conservación de la materia y de la energía indican que la homogeneidad puede darse, por ejemplo, en toneladas (t) para los materiales y en toneladas equivalentes de petróleo (Tep) para la energía.

Por otra parte, la *Encuesta Industrial* no proporciona información sobre el uso y consumo de agua. Al estar estipulado el pago de cánones o tasas no disponemos de ninguna base estadística normalizada que contenga el consumo de agua en términos físicos. Por otra parte, ni siquiera desde las distintas Confederaciones Hidrográficas o instituciones compe-



tentes, se conoce (o se da a conocer) el uso que se hace de este recurso, dato básico para saber el volumen de emisiones residuales en forma líquida. En este caso se consideró un consumo de 86 m<sup>3</sup> por tonelada de pasta en 1992, aunque en 1996 ronda los 48 m<sup>3</sup>/t, ENCE (1997) y 20 m<sup>3</sup> por tonelada de papel, Asenjo (1994).

En el sector que nos ocupa la producción se refiere a los productos 471 y 472, más concretamente pasta al sulfato blanqueada de eucalipto y papel satinado por una cara destinado a envoltorio, respectivamente. La Figura 1 muestra muy claramente las interrelaciones del sector con otros sectores, indicando las entradas de materiales, agua y energía y las salidas de productos hacia otros sectores de la economía. Así, el sector 80 demanda materiales de: Minerales no metálicos y canteras (S12), Cementos (S14), Petroquímica y química orgánica (S19), Química inorgánica (S20), Materias plásticas y caucho (S21), Otros productos químicos industriales (S26), Productos alimenticios diversos (S57) y sector silvícola, así como colorantes y pigmentos que proceden en su totalidad de importaciones (M) por no realizarse en Galicia esa actividad industrial.

Por otra parte, abastece de pasta (471) y papel (472) al sector de Transformación de papel y cartón (S81) y tan solo de papel a múltiples sectores de la economía: Otros productos químicos de consumo final (S30), Maquinaria industrial (S37), Maquinaria y material eléctrico (S39), Tabaco (S64), Cuero (S70), Confección en serie (S72), Confección a medida (S73), Industria de la madera (S76), Artes gráficas y edición (S82), Transformación de materias plásticas (S84), Juegos y juguetes (S88), y Manufacturas diversas (S89). También se observan reemplazos de pasta de madera (471).

En cuanto al consumo de energía (Figura 1), el sector 80 se abastece de energía eléctrica (F2) procedente, como es obvio, del sector eléctrico (S6), además de los sectores 10, 17, 26, 42, 73 y 83. Asimismo, consume carbón vegetal (F5) procedente del sector 2 (Coquerías) y fuel-oil (F7), y gasóleo A (F9) del sector 4 (Refino de petróleo). También se pone en evidencia el abastecimiento de energía eléctrica a la red por parte del sector 80, tal y como señalábamos en un apartado anterior.

A la vista del Cuadro 1, se observa que el sector presenta un consumo medio de 0,20 Tep/t de producto, siendo aproximadamente 0,19 Tep/t en la fabricación de pasta papelera y de 0,23 Tep por tonelada de papel producido. Como ya decíamos en el apartado anterior, casi toda la energía utilizada deriva en contaminación térmica, lo que supondría unos residuos generados de 49,88 Tep por tonelada de producto.

El Cuadro 2 aporta información sobre los materiales empleados por el sector de fabricación de pasta y papel, hay que destacar la importancia de la madera de eucalipto para la fabricación de pasta al sulfato, que presenta un rendimiento de aproximadamente el 45%, junto con multitud de productos químicos tales como ácido sulfúrico, cloro, sosa cáustica, etc. En el caso de la fabricación de papel el principal material es la pasta de madera química blanqueada y sin blanquear, seguida del consumo de sulfato de aluminio, carbonato

**Cuadro 1: Flujos de energía (Tep). Sector 80. 1992**

Tipo de energía	Entradas (E)	Energía Reemplzada	Producción Vendida (Pv)	Residuos Re=(E-Pv)	Coste energético Re/Pv
Energía eléctrica (F2)	1.894,33	10.684,31	922,07		
Carbón vegetal (F5)	260,40				
Fuel-oil (F7)	44.525,00				
Gasóleo A (F8)	235,12				
<b>TOTAL</b>	<b>46.914,85</b>	<b>10.684,31</b>	<b>922,07</b>	<b>45.992,78</b>	<b>49,88</b>

Nota: Tep: Toneladas Equivalentes de Petróleo; Re: Residuos generados por el consumo de energía.

**Cuadro 2: Consumo de materiales (toneladas). Sector 80. 1992**

Materiales	Entradas (M)	Reemplazos (Pr)	Producción vendida (Pv)	Residuos R=(M-Pv)	Coste físico R/Pv
<b>51</b>	9,98				
<b>52</b>	473.250,00				
<b>231</b>	19,46				
<b>239</b>	107,00				
<b>242</b>	2.851,00				
<b>251</b>	33.019,85				
<b>253</b>	168,28				
<b>418</b>	159,95				
<b>471</b>	13.310,00	1.860,12	220.448,00		
<b>472</b>			15.302,81		
<b>600</b>	1.714,54				
<b>629</b>	5.580,29				
<b>TOTAL</b>	<b>530.190,35</b>	<b>1.860,12</b>	<b>235.750,81</b>	<b>294.439,55</b>	<b>1,25</b>

Nota: Ver leyenda.

neutro de sodio, carbonato cálcico precipitado, así como otra serie de productos necesarios para impartir ciertas características a la hoja de papel (resinas y colas para aumentar la consistencia y la resistencia a la humedad, las sales de aluminio para fijar estas resinas en la celulosa; colorantes y pigmentos que dan la tonalidad que se desea; caolín que aumenta el peso y proporciona opacidad y consistencia).

Si tratamos al sector 80 en su conjunto podríamos decir que los residuos generados rondan los 1,25 t por tonelada de producto, mientras que si distinguimos entre fabricación de pasta y de papel estaríamos hablando de 1,31 t/t de pasta y 0,40 t de residuos por tonela-

da de papel. Resultado que permite distinguir claramente en que parte de la cadena fibra-pasta-papel se encuentra el proceso más contaminante. En la Figura 1 tenemos además los flujos totales de materiales y energía del sector.

## 5. Conclusiones

Hemos intentado con este trabajo analizar los flujos de materiales y energía en una industria que está encuadrada en el grupo de actividades industriales más contaminantes. Hay que tener en cuenta que los ratios de residuos/tonelada de producto o energía/tonelada de producto podrían medir mejor los costes físicos, es decir un impacto medioambiental, que los ratios de tipo monetario. Estas medidas serían de mayor utilidad si fuese posible realizar un análisis temporal, posibilidad que se ha visto truncada por el cambio metodológico que la *Encuesta Industrial* sufrió después de 1993. De esta manera se impide la continuidad en el tiempo de este tipo de estudios, que permitirían realizar un seguimiento de los distintos sectores. Por ello, cabe esperar una reconsideración por parte de los organismos competentes para que, sin suspender los nuevos objetivos propuestos por la publicación, no se pierda una información tan valiosa en estos momentos para el análisis económico. Por lo menos, desde este campo de estudio se debería reclamar una mayor atención a la recogida sistemática, para todo tipo de actividades, de los datos sobre usos y flujos de materiales y energía.

En cualquier caso creemos que la información aquí aportada nos sirve para comprender mejor que los criterios medioambientales no pueden ser tomados en una única dirección, como puede ser la de utilizar ciertos materiales renovables, degradables y reciclables en la producción. Sería necesario atender a todo el conjunto del proceso manufacturero, al tipo y cuantía de materiales utilizados, al consumo de energía y a la generación de residuos que tal proceso conlleva (dimensión y características de esos residuos). Sólo de esta forma, se podrán detectar y resolver los graves problemas que cualquier actividad económica puede provocar en el entorno.

### LEYENDA:

#### SECTORES

Clasificación utilizada por la *Encuesta Industrial* : Actividades Económicas

**S2:** Coquerías

**S4:** Refino de petróleo

**S6:** Energía eléctrica

- S8:** Agua
- S10:** Siderurgia y primera transformación del hierro y del acero
- S12:** Minerales no metálicos y canteras
- S14:** Cementos, cales y yesos
- S17:** Vidrio y sus manufacturas
- S19:** Petroquímica y química orgánica
- S20:** Química inorgánica
- S21:** Materias plásticas y caucho
- S26:** Otros productos químicos industriales
- S28:** Jabones, detergentes y perfumería
- S30:** Otros productos químicos de consumo final
- S37:** Maquinaria industrial
- S39:** Maquinaria y material eléctrico
- S42:** Construcción naval
- S57:** Productos alimenticios diversos
- S64:** Tabaco
- S70:** Cuero
- S72:** Confección en serie
- S73:** Confección a medida
- S76:** Industria de la madera
- S80:** Pasta papelera, papel y cartón
- S81:** Transformación de papel y cartón
- S82:** Artes gráficas y edición
- S83:** Transformación del caucho
- S84:** Transformación de materias plásticas
- S88:** Juegos y juguetes
- S89:** Manufacturas diversas

#### **ENERGÍA:**

- F2:** Energía eléctrica
- F5:** Carbón vegetal
- F7:** Fuel-oil
- F8:** Gasóleo A

#### **MATERIALES**

Clasificación Nacional de Bienes y Servicios (CNBS):

- 51:** Resinas, gomas, savias y lacas naturales
- 52:** Madera de frondosa para trituración (eucalipto)

- 231:** Caolín y arcillas caolínicas
- 160:** Agua
- 239:** Talco, esteatita y sepiolita
- 242:** Cales
- 251:** Otros productos químicos orgánicos, productos químicos inorgánicos (no gases comprimidos): cloro, ácido sulfúrico, sosa cáustica, sulfato de sodio, sulfato de aluminio, carbonato neutro de sodio, carbonato cálcico precipitado
- 253:** Colorantes y pigmentos, colas, adhesivos y productos similares, otros productos químicos de uso industrial
- 418:** Almidón y féculas
- 471:** Pasta de madera química al sulfato o a la sosa cruda, pasta de madera química al sulfato o a la sosa blanqueada, pasta de papeles viejos
- 472:** Otros papeles de imprenta y de escribir, papel y cartón kraft, papel y cartón para embalaje
- 600:** Comercio e intercambio comercial
- 629:** Comercio al por mayor de productos de deshecho no metálicos

## Bibliografía

- ASENJO MARTÍNEZ, J.L. (1994): "The papermaking sector in Spain". *Investment Technical Papers*, 30 (120): 189-223.
- DEL VAL, A. (1993): *El libro del reciclaje. Manual para la recuperación y aprovechamiento de las basuras*. Barcelona, Integral, 256 p.
- DOLDÁN GARCIA, X.R. (1999): *Problemas metodolóxicos referidos ao cómputo económico dos fluxos de materiais, enerxía e auga na industria. Unha aplicación da súa contabilización à industria manufacturera galega, 1992*. Tesis Doctoral, Servicio de Publicacións e Intercambio Científico da Universidade de Santiago de Compostela.
- ENCE. (1997): *Informe medio ambiental de ENCE-Pontevedra, 1996*. 24 p.
- EWING, A.J. (1985). *Energy efficiency in the pulp and paper industry with emphasis on developing countries*. Washington, World Bank.
- FRIAS SAN ROMÁN, J. (1993): "Sistemas urbanos industriales" en Naredo, J.M. y Parra, F. (Comp.). (1993): *Hacia una ciencia de los recursos naturales*. Madrid. Siglo XXI, pp. 304-335.
- FRIAS SAN ROMÁN, J. (1994): «Una visión nueva de la industria: los flujos de materiales, energía y residuos». *Economía Industrial*, Mayo-Junio. pp. 83-96.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). (1993): *Encuesta Industrial*
- INTERNATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (IIED). (1996): *Towards a sustainable paper cycle*. Londres. 258 p.

Naredo Pérez, J.M. y Frías San Román, J.. (1988): *Flujos de energía, agua, materiales e información en la Comunidad de Madrid*. Consejería de Economía- Comunidad de Madrid.

Smook, G.A. (1990): *Handbook for pulp and paper technologist*. TAPPI. 395 p.