

PASTA Y PAPEL



Introducción

El origen del papel se sitúa hacia el año 105 de nuestra era, atribuyéndose su autoría a Tsai-Lum, consejero de agricultura del emperador chino Ho Tí. Este primer papel se obtenía mediante una mezcla de seda, cáñamo, y fibra de corteza, que se hervía durante varios días para conseguir liberar las fibras. La pasta obtenida se diluía en agua, y se secaba entre dos planchas sometidas a presión, hasta formar una hoja de papel.

Previamente a este descubrimiento, se usaban otros medios de escritura, el papiro (fibras de plantas entretrejidas y pegadas) y el pergamino (pieles de animales pulidas, tratadas y secas).

Durante los 500 años posteriores a su invención, el proceso de fabricación del papel se aplicó únicamente en China. Posteriormente, se extendió a países limítrofes como Corea, Japón, Asia Central, Tíbet, India, etc.

En el año 751, tras la batalla de Samarcanda, los árabes entraron en contacto con la técnica de elaboración del papel, al hacer prisioneros a artesanos chinos que consiguen obtener papel,



utilizando como materia prima las plantaciones de lino y cáñamo existentes en aquella región.

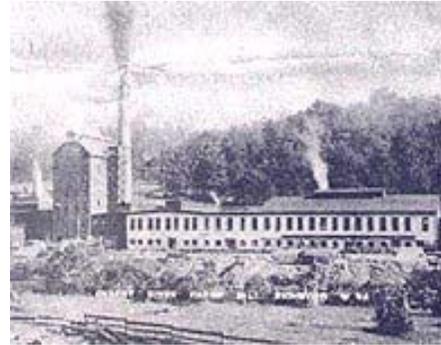
En el año 794 ya existía una fábrica de papel en Bagdad y, posteriormente, la fabricación se propaga, a través de Damasco y el norte de África, hasta llegar a Europa donde la primera fábrica de la que hay constancia histórica, se instala en Játiva en el siglo XI.

Uno de los grandes impulsos en la fabricación del papel vino dado por la invención de la imprenta en el siglo XV. Como referencia, a finales del siglo XVII, existían ya en Francia 740 molinos con una producción total de 20.000 toneladas año.

Posteriormente, se produjo una gran expansión de este producto con la invención de la máquina de fabricar papel en 1798, y la puesta en marcha de un proceso de elaboración mecanizado por los hermanos Fourdrinier en 1803.

Como consecuencia de la elevada demanda de papel generada, surgió la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías que permitiesen obtener materia prima a partir de materiales alternativos. Después de numerosos intentos, a

pasta y papel



mediados del siglo XIX, Dahl desarrolló una tecnología química que permitía procesar materias lignocelulósicas y que se considera el origen del proceso "Kraft" o proceso al sulfato.

Desde su descubrimiento y hasta nuestros días, la composición de las materias primas aplicadas para la fabricación de papel ha sido muy heterogénea. Así, junto a la madera, cabe mencionar el empleo de fibras semitrituradas de morera, pasta de pulpa de cáñamo, esparto, paja de arroz, lino, algodón, etc.

Pasta de celulosa

La pasta de celulosa es la materia prima a partir de la cual es posible obtener una variada gama de productos como papeles y cartones, celofán, fibras textiles, explosivos nitrocelulósicos, etc.

La obtención de pasta de celulosa se basa en la separación de las fibras naturales (compuestas básicamente por celulosa) por medios mecánicos (mediante la acción de molinos y refinadores) y/o químicos (disolviendo la lignina que mantiene unidas a las fibras).

La tabla 1 resume los principales procesos de fabricación de pasta existentes.

En general, la obtención de papeles de inferior calidad y cartones para embalajes suelen llevarse a cabo a partir de pastas mecánicas. Por el contrario, productos de elevada calidad como el papel para impresión, o productos químicos derivados de la celulosa, se obtienen a partir de pastas químicas.

Debido a su proceso de obtención, las pastas mecánicas se caracterizan

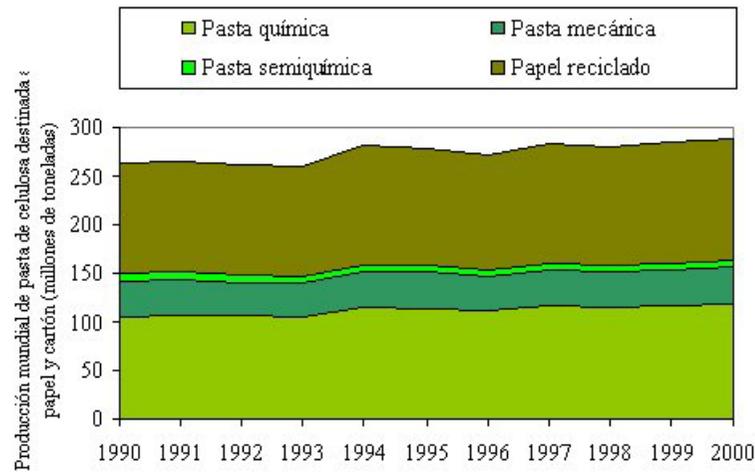


FIGURA 1. EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE PASTA DE CELULOSA DESTINADA A LA OBTENCIÓN DE PAPEL Y CARTÓN. FUENTE: FAO

por un elevado contenido en lignina residual. En el caso de la pasta química, su obtención se produce básicamente a través de dos procesos cuya diferencia principal se encuentra en el agente químico empleado para disolver a la lignina: el proceso al sulfato (o proceso "Kraft") y el proceso al sulfito.

Tradicionalmente, las pastas "Kraft" se destinan a la obtención de papel, y las pastas al sulfito se destinan a la obtención de derivados químicos de la celulosa y papeles especiales. No obstante, como consecuencia de los avances tecnológicos desarrollados en este sector, actualmente las aplicaciones en ambos casos se han diversificado.

En el año 2000, según la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) se produjeron cerca de 166 millones de toneladas de pasta de celulosa a partir de fibras vírgenes procedentes de maderas. De este

volumen total, el 74% se obtuvieron químicamente, el 22% mecánicamente, y el restante 4% mediante procesos semiquímicos (figura 1).

La madera constituye la materia prima correspondiente al 90% de la producción mundial de pasta de celulosa a partir de fibras vírgenes, obteniéndose el 10% restante a partir de materiales no leñosos como el cáñamo, bambú o lino. A su vez, los datos de la

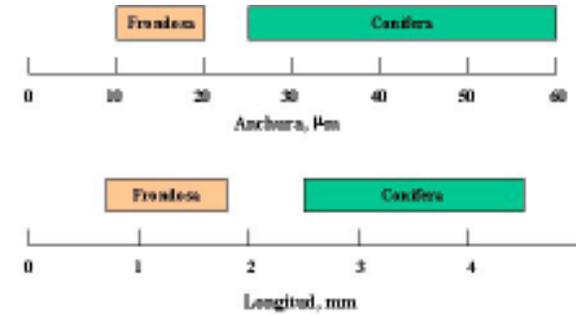


FIGURA 2. DIFERENCIAS DIMENSIONALES ENTRE LAS FIBRAS DE MADERAS DE FRONDOSAS Y DE CONÍFERAS.

FAO indican que por cada tonelada de pasta de celulosa obtenida a partir de fibras vírgenes, se añaden 760 kg de papel reciclado.

De acuerdo a su origen, la pasta de celulosa se clasifica en fibra larga (coníferas o softwood) y fibra corta (frondosas o hardwood).

Entre las maderas de fibra larga destacan diferentes especies de pinos y abetos mientras que en fibra corta

encontramos varias especies de eucaliptos, abedules y álamos. Todas ellas presentan características comunes como su abundancia y dispersión geográfica, su renovabilidad y su susceptibilidad al procesamiento con las tecnologías actuales.

La figura 2 muestra las principales diferencias dimensionales entre las fibras de maderas de frondosas y coníferas.

Tabla 1. Principales procesos de obtención de pasta de papel

Proceso	Tipo de pasta	Procedimiento	Rendimiento, %
Mecánico	Mecánica	Desfibrado mediante la acción de dos discos que giran en sentido contrario.	93 – 98
	Termomecánica	Procedimiento mecánico, con aplicación de calor para debilitar la unión entre fibras.	91 – 95
	Termoquímica	Procedimiento mecánico, con adición de agentes químicos y aplicación de calor.	65 – 90
Semiquímico	Sulfito neutro (NSSC)	Tratamiento químico (adición de sulfito y bicarbonato sódicos) previo al desfibrado mecánico.	65 – 90
Químico	Kraft ó al sulfato	Degradación de la lignina mediante una mezcla de sulfuro e hidróxido sódicos.	40 – 55
	Sulfito	Degradación de la lignina mediante mezclas de sulfito sódico con distintas bases.	45 – 60
	Alcalina	Degradación de la lignina mediante por la acción del hidróxido sódico.	45 – 55



En función de la materia prima empleada para la fabricación de la pasta de celulosa, se obtienen distintas propiedades. Por este motivo, y para mejorar las prestaciones de los productos acabados, es habitual realizar mezclas para aprovechar las ventajas de la fibra larga (determinadas propiedades mecánicas, mayor susceptibilidad al procesamiento mecánico), con las de la fibra corta (mejores propiedades superficiales especialmente en aspectos relacionados con la calidad de impresión).

A medio y largo plazo, el incremento del consumo de papel y otros derivados de la madera en los principales mercados ya existentes, unido a la incorporación de un importante número de consumidores en países en vías de desarrollo, plantea previsible dificultades en el suministro de materia prima para poder dar respuesta a las crecientes necesidades de madera.

En cierta medida, la solución a este problema vendrá dada por la potenciación de especies de crecimiento rápido como el *Pinus radiata* o el *Eucalyptus globulus*.

El papel

Bajo el nombre genérico de "papel" se presenta un amplio abanico de productos con muy diferentes aplicaciones y usos, siendo un buen ejemplo de su versatilidad 457 variedades de papel existentes en el Pulp & Paper International Directory.

En general puede realizarse una clasificación de los tipos de papel según el uso al que se destine.

• Papel prensa

Para este uso se utilizan papeles obtenidos mediante procesos mecánicos, mezclados con otras fibras. El gramaje se encuentra comprendido entre 50 y 60 g/m². En 1999, en España se consumieron unas 632.000 t (un 9,9% del total).

• Papel de impresión y escritura

Su procedencia abarca desde pastas obtenidas por procesos mecánicos hasta químicas dependiendo de la calidad deseada. Así pueden distinguirse papel para fotocopiadora, continuo, kraft, couché, alto brillo, etc, con

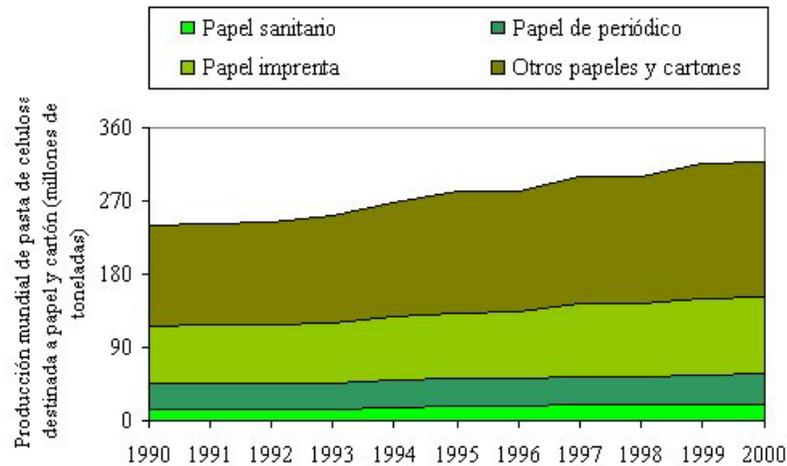


FIGURA 3. EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE PAPEL Y CARTÓN. FUENTE: FAO

gramajes comprendidos entre 50 y 320 g/m². En España representa el 30% del consumo.

•Papel sanitario

Representa un 6,8% del consumo total en España siendo el mayor destino el uso doméstico.

•Papel para envases y embalajes

Aproximadamente el 50% del total consumido en España corresponde a este apartado.

•Papeles especiales

Se corresponden con la producción de determinadas aplicaciones como el "papel biblia", "papel moneda", papeles destinados al embalaje de alimentos, etc.

En las últimas décadas, el crecimiento del consumo del papel se ha situado en

un valor medio del 6% anual en los países en vías de desarrollo y un 2% en los países desarrollados (figura 3).

A pesar del impacto de las nuevas tecnologías de la comunicación (Internet, CD-Rom, etc) o de la aparición de materiales sustitutivos en los embalajes tradicionales, se prevé una continuidad en el fuerte crecimiento del consumo de papel en el mundo. Según la FAO, en el periodo comprendido entre los años 1993 y 2010, el consumo casi se duplicará, con un crecimiento estimado en alrededor del 70% en Europa y del 150% en África y Asia.

El consumo per cápita mundial ronda los 50 kg por habitante y año, con grandes diferencias según el grado de industrialización de los países. Como indicador de estas diferencias cabe mencionar un consumo superior a 350

kg por habitante y año en el caso de los EE.UU. frente a un valor promedio de 5,4 kg en los países africanos.

El consumo per cápita en España se situaba en 129 kg en 1996 y en 161 kg en 1999. Al mismo tiempo, Portugal aumentó desde los 85 kg de consumo de papel por persona en 1996, hasta los 100 en 1999 (la media europea es de 200 kg).

Según datos de Pulp & Paper International, la producción de pasta y papel se concentra en Europa y Norteamérica, con unas cifras del 70% para la pasta, y el 64,3% del papel y cartón. El consumo equivalente representa el 59% del total.

El eucalipto como materia prima en la industria pastero papelera

En el año 1923 la compañía portuguesa CAIMA emplea por primera vez en el mundo madera de *E. globulus* en la elaboración de pasta de papel al bisulfito y en 1957 la empresa PORTUCEL inicia la producción de pasta de papel al sulfato.

En España, ambas iniciativas son seguidas respectivamente por las empresas SNIACE y ENCE y supusieron un enorme desarrollo de las plantaciones de eucalipto orientadas a la producción de fibra para elaborar pasta de papel.

En Galicia, el Grupo Empresarial ENCE instaló en 1963 una fábrica de pasta en Pontevedra. En una primera etapa consumió madera de pino (30.000 toneladas anuales), pasando posteriormente, tras una reconversión tecnológica, a abastecerse únicamente con eucalipto. En la actualidad está considerada una de las factorías pione-



ras en innovación y desarrollo de la fabricación de pasta TCF (Totally Chlorine Free), a partir de madera de eucalipto.

Como indicador del desarrollo alcanzado en las tecnologías de aprovechamiento de la fibra de eucalipto para obtener pasta de celulosa, basta decir que en el año 1999 la producción de pasta de eucalipto (6,3 millones de t) ya suponía el 48% de la producción mundial de pasta de fibra corta.

Actualmente, existen dos fábricas que fabrican pasta química de celulosa,

mediante el proceso Kraft, en la Eurorregión Galicia-Norte de Portugal:

- La fábrica del Grupo Empresarial ENCE, S.A. de Pontevedra (Galicia), con una capacidad de producción de unas 330.000 toneladas anuales.
- La fábrica de Portucel Viana - Empresa Productora de Papeis Industriais, S.A, situada en Viana do Castelo (Norte de Portugal), con una capacidad de producción de 270.000 toneladas anuales.

Para comprender por qué el eucalipto

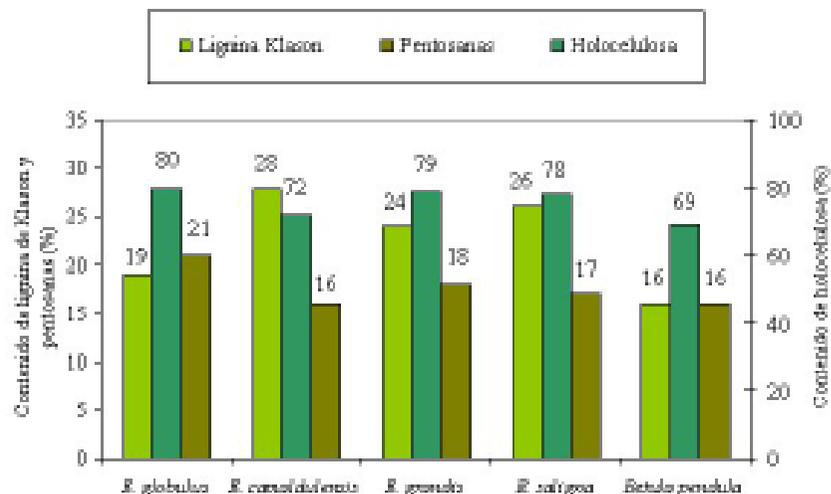


FIGURA 4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ALGUNAS MADERAS DE FRONDOSAS DESTINADAS A LA OBTENCIÓN DE PASTA DE CELULOSA. FUENTE: CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE ENCE (CIE)

blanco constituye una materia prima óptima para la obtención de pasta química es necesario profundizar en la morfología de su fibra y en la composición química de su madera.

En general, las maderas de coníferas presentan un mayor contenido en lignina y hemicelulosas que las frondosas; y, consecuentemente, un menor contenido en celulosa. Desde el punto de vista de la pasta química, este hecho resulta determinante con respecto al rendimiento del proceso.

A su vez, la estructura de cada fracción también repercute en la calidad de la pasta obtenida. Así, en general, el contenido en α -celulosa (celulosa con estructura cristalina que no se degrada en las condiciones alcalinas del proceso de deslignificación) de las maderas de frondosas es mayor que el de las

maderas de coníferas.

Otra diferencia importante viene dada por la estructura polifenólica que constituye la lignina de las maderas de frondosas. En este sentido, la proporción de unidades siringílicas y guayacílicas afecta a la reactividad de la lignina en medio alcalino. Este hecho condiciona la facilidad de deslignificación en el proceso "Kraft", repercutiendo en la degradación que sufren las cadenas polisacáridas (celulosa y hemicelulosas) y, por consiguiente, en el rendimiento del proceso. Hay que destacar que la madera de eucalipto es una de las frondosas que presenta un mayor contenido en unidades siringílicas (82-86 % de la lignina).

La elevada reactividad de la lignina de la madera de eucalipto, permite además

Tabla 2. Rendimiento en materia prima de distintas especies de frondosas

Especie	Consumo específico, m ³ /tAD
<i>Eucalyptus globulus</i>	2,9
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	4,6
<i>Eucalyptus grandis</i>	3,9
<i>Eucalyptus saligna</i>	3,5
<i>Betula pendula</i>	4,5

Fuente: Centro de Investigación de ENCE (CIE)

aplicar secuencias de blanqueo totalmente exentas de cloro (TCF) repercutiendo positivamente en el impacto medioambiental de este tipo de industrias. La eliminación de compuestos clorados en la secuencia de blanqueo conduce a la eliminación drástica de AOX (compuestos organoclorados) en los efluentes.

El reducido contenido de lignina (figura 4) acompañado de un elevado contenido de holocelulosa (celulosas y hemicelulosas), conduce a la obtención de pastas con un elevado rendimiento. Este hecho unido a su elevada densidad básica, permite obtener un consumo específico de materia prima muy inferior al requerido por otras especies (tabla 2).

Por otro lado, las propiedades del papel obtenido, dependen fundamentalmente de la morfología de las fibras empleadas, y del procedimiento de transformación seguido, particularmente en la etapa de refino.

La tabla 3 muestra las características biométricas de diferentes tipos de fibras, procedentes de maderas de frondosas, empleadas para la obtención de pasta de celulosa.

Para el caso del *Eucalyptus globulus*, se considera como promedio una longitud de fibra de 1,05 mm con una sección de 19 micras.

Por otro lado, la granulación de las fibras de eucalipto, entendida como la masa por unidad de longitud de fibra, es de las menores de las encontradas en el mercado de la celulosa. Todo ello conduce a que el número de fibras por unidad de volumen sea de los más altos encontrados (en torno a 20.000.000 frente a 1.000.000 correspondiente a diversas especies de pinos norteamericanos).

Con respecto a la estructura interna, también existen diferencias en el caso del *E. globulus*. Así, las microfibrillas presentes en la pared secundaria de las fibras,

presentan una menor inclinación en comparación con otras frondosas. Este hecho origina una mayor rigidez, que confiere al papel una estructura voluminosa y una alta opacidad.

En resumen, las buenas condiciones de la madera de *E. globulus* para su aprovechamiento por la industria pastero-papelera vienen dadas por las siguientes características:

- El reducido contenido de lignina, junto con la elevada reactividad que presenta en las condiciones de deslignificación empleadas en el proceso "Kraft", permiten obtener pastas con un elevado rendimiento y grado de blancura, bajo contenido en lignina residual, y reducida degradación de la celulosa y hemicelulosas.
- La baja degradación de las fibras, durante el proceso, permiten mantener sus propiedades mecánicas, permitiendo la obtención de pastas y papeles

Tabla 3 Principales indicadores para caracterizar la fibra en la industria pastero-papelera

	<i>Eucalyptus globulus</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus saligna</i>	<i>Betula pendula</i>
Longitud de fibra (L), mm	1,05	0,81	1,02	0,83	1,25
Espesor de pared (e), μm	4,2	4,3	2,8	3,0	3,1
Anchura de fibra (a), μm	19	16	22	17	18
Relación longitud/anchura	55	51	46	49	69
Anchura de lumen (lu), μm	10,5	8	17	11	9,8
Índice Runkel (2e/lu)	0,80	1,08	0,33	0,55	0,63
Coef. flexibilidad (100 lu/a)	55	50	77	65	54
Proporción pared (100 2e/a)	44	54	25	35	34

Fuente: Centro de Investigación de ENCE (CIE).

adecuados para aquellas aplicaciones en las cuales las propiedades mecánicas desempeñan un papel fundamental (por ejemplo, papel de impresión empleado en fotocopiadoras en donde la resistencia al desgarro es determinante).

- El reducido contenido en lignina residual contribuye a la estabilidad en la blancura del producto final.
- La dimensión de sus fibras permiten su empleo como aditivo en aquellas pastas obtenidas a partir de fibras largas en las que las exigencias en el grado de lisura sea determinante, sin comprometer sus propiedades mecánicas.
- El elevado contenido de fibras por unidad de masa junto con su reducido tamaño permite producir papeles con reducidos espesores y altos gramajes, caracterizados por una notable opacidad y lisura. Estas características permiten obtener productos de elevada calidad, como los papeles gráficos.

- Su capacidad de absorción permite la mejora en los tratamientos con colorantes y/o resinas para la obtención de determinados productos, sin perjudicar su aplicación para la obtención de papel para imprenta.
- Por último, la elevada flexibilidad de las fibras de eucalipto (debido a las características físicas de la fibra junto con la presencia de las hemicelulosas) y el elevado número de fibras por unidad de masa resultan una de las características más importantes para su destino a la obtención de papeles absorbentes (por ejemplo, papel higiénico).

Bibliografía

ARACRUZ CELULOSE, S.A. .2001. <http://www.aracruz.com.br>

ATCHINSON, J.E.; MCGOVERN, J.N. 1993. "History of paper and the importance of non-wood plant fibres". Hamilton & B. Legold (Eds.) Paper and paper manufacture. Vol. 3. Secondary fibres and non-wood pulping. TAPPI Press. Atlanta, GA.

BERMÚDEZ, J.D. 1999. "La industria de la pasta de celulosa, papel y cartón". Revista del Centro de Innovación y Servicios Tecnológicos de la Madera, 3.

GRUPO EMPRESARIAL ENCE, S.A. 2000. <http://www.ence.es>

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2000. "Forestry data". FAO Statistical Data.

PORTUCEL – EMPRESA PRODUCTORA DE PASTA E PAPEL, S.A. 2001. <http://www.portucel.pt>

SÁNCHEZ, F. 1999. "Características de las pastas papeleras de *Eucalyptus globulus*". Ingeniería Química, 356.

SOCIEDADE PORTUGUESA DE PAPEL, S.A. 2001. <http://www.soporcel.pt>

WALLIS, A. 1999. "Test for lignin type will aid eucalypt breeding". Onwood, 27(Summer 1999/2000). CSIRO, Australia.