

INNOVACIÓN CIENTÍFICA EN TORNO A LA PRODUCCIÓN DE PASTA DE PAPEL EN EL SIGLO XIX

Luz Díaz Galán

Restauradora de documento gráfico y licenciada en ciencias físicas

laboratorio de restauración de la Biblioteca Nacional de España

luz.diaz@bne.es

Se puede considerar el siglo XIX como el siglo de la diversificación de los procesos de producción de papel, y por tanto, de los productos papeleros accesibles en el mercado. Dentro del nuevo marco económico configurado por la Revolución Industrial y el incipiente sistema capitalista, los cambios en la actividad editorial, reflejo de la creciente demanda de productos impresos, impulsaron la renovación de la actividad papelera. El avance de la ciencia experimental y aplicada fue fundamental en este proceso. En este trabajo se quiere hacer un recorrido por el desarrollo de las técnicas que científicos, ingenieros y papeleros pusieron en funcionamiento a lo largo de esta centuria en relación con la producción de pasta de papel a partir de nuevas materias primas para papeles de impresión.

Dentro del proceso de fabricación del papel, dos de los factores determinantes de las características del resultado final son la elección de las materias primas y los sistemas de procesado de las mismas. Aunque a lo largo del proceso completo, las propiedades físico-químicas de las fibras utilizadas se van modificando –blanqueo, encolado, cargas de relleno, etc.- características básicas del papel como resistencia mecánica y perdurabilidad vienen determinadas en gran medida por la elección de las materias primas iniciales y de cómo se transforman en pasta de papel.

Hasta el s. XIX, la elaboración del papel fue un proceso artesanal en el que la experiencia y el ensayo-error fueron determinando los materiales y técnicas más adecuados. Pero a lo largo de este siglo, el desarrollo de ámbitos científicos como la botánica, la biología, la química o la mecánica tendrá una profunda repercusión al introducir los postulados de la investigación científica en la renovación de las técnicas de producción. Así, los descubrimientos científicos de nuevos materiales, productos y técnicas se irán introduciendo en los talleres artesanales en pro de una mejora del negocio. De este modo, culminará un proceso iniciado ya en el la centuria anterior por el que la producción en los talleres sufrirá una paulatina mecanización e industrialización, dejando atrás los postulados del sistema gremial y asumiendo las nuevas ideas capitalistas.

A lo largo del s. XVIII se produjo un cambio en el mundo de la ciencia, de modo que fueron personas pertenecientes a la tradición artesanal las que mostraron mayor interés por el desarrollo práctico de la ciencia aplicada. La introducción del mundo artesanal en el ámbito científico tuvo su origen en la valorización que durante los siglos XVI y XVII, en el contexto de la primera Revolución Científica, se hizo del saber práctico de los artesanos, los artistas y los ingenieros. Frente a la separación escolástica de la tradición culta y la tradición artesanal, esta última se comenzó a considerar parte fundamental del conocimiento científico en cuanto desarrollo empírico de diversas teorías físicas, químicas, etc. Así pues, los procedimientos de los artesanos, de los artistas y de los ingenieros comenzaron a tener valor en relación con el progreso del saber. De este modo, la tradición artesanal se introdujo dentro del engranaje del conocimiento científico como elemento fundamental para el avance de la teoría; relación de doble dirección, pues el avance teórico supone a su vez un avance técnico.

En este contexto, en la segunda mitad del s. XVIII, mientras que los científicos-teóricos ilustrados mostraban un gran interés por el conocimiento de los procedimientos técnicos utilizados por artesanos de muy diversas ramas, técnicos-artesanos procedentes de éstas comenzaron a desarrollar aplicaciones técnicas de las nuevas teorías científicas, estando especialmente interesados en la mecánica, la química y el electromagnetismo⁷

Así pues, el desarrollo de la ciencia experimental y aplicada llevado a cabo fundamentalmente por científicos e ingenieros del mundo anglosajón, dio un impulso inmediato al desarrollo de las técnicas industriales. Impulso que, como se verá a continuación, también tuvo su reflejo en los procesos de fabricación de papel.

También hay que tener en cuenta el cambio conceptual que se produjo en los países occidentales durante este periodo: el paso del proceso artesanal al proceso industrial. Las técnicas de producción han de adaptarse a las necesidades crecientes de un mercado en expansión y a los nuevos criterios económicos y comerciales que rigen este mercado. En el caso del papel, el aumento de las necesidades de producción estuvo estrechamente ligado con los cambios en la actividad editorial.

Por un lado, el aumento de la demanda fue un factor fundamental. El espectacular incremento que a lo largo del s. XIX experimentó el número de impresos en Europa y Norte América fue

⁷ Sobre este tema ver: Stephen F. Mason, *Historia de las ciencias*, Madrid: Alianza editorial, 1886; C. Solís, *La revolución de la física en el siglo XVII en Historia de la ciencia y de la técnica nº 18*, Madrid: Editorial Akal, 1991.

consecuencia de un nuevo contexto socio-económico que favoreció la difusión de la lectura a sectores más amplios de la sociedad. Aunque ya en el siglo anterior el interés por la lectura aumentó notablemente entre las clases acomodadas de Francia, Alemania o Gran Bretaña, será con el surgimiento y consolidación de la sociedad liberal cuando un público más numeroso y plural demande nuevas lecturas más baratas y accesibles. Asimismo, la mayor demanda de publicaciones impulsó la renovación de la oferta. Los nuevos avances técnicos en la producción editorial posibilitaron el abaratamiento de los costes y, a su vez, la reconversión de las formas del libro a los nuevos gustos y necesidades. Todo ello acompañado por nuevas técnicas de comercialización.

Por otro lado, se produjo un cambio radical en la concepción y contenido del libro. Como señala Hipólito Escolar, el libro dejó de ser un instrumento para la conservación del pensamiento y de la memoria de la humanidad, para convertirse en instrumento para la difusión de la información reciente⁸. Así, se multiplicaron las tiradas de las publicaciones periódicas, revistas y folletos de toda índole⁹.

Todos estos factores influyeron, lógicamente, en los productores de papel y crearon el clima adecuado para que los procesos de fabricación del papel sufrieran profundos cambios a lo largo del s. XIX. La creciente demanda de papel para imprimir hacía más urgente la necesidad de solucionar los problemas que la escasez y carestía de trapos estaban causando. Además, el carácter efímero de muchos de los impresos de la época influyó en las políticas de los nuevos papeleros, cada vez más empresarios, que no buscaron tanto la calidad del producto como la rentabilidad de un negocio en alza. Aunque no hay que olvidar que la implantación de estos cambios fue paulatina y a distinto ritmo dependiendo de la coyuntura económica, política y social de los diferentes países occidentales.

UN NUEVO RITMO EN LA PRODUCCIÓN DE PAPEL: NUEVAS MÁQUINAS, NUEVAS MATERIAS PRIMAS

Los primeros pasos se dieron en la dirección de optimizar los procesos de refinado de la pasta y de formación de las hojas de papel. La aparición de la máquina de vapor revolucionó el campo de

8 H. Escolar Sobrino, *Historia del libro*, Madrid: Fundación Germán Sánchez Ruipérez, 1963, p. 539.

9 Sobre la actividad editorial en el s. XIX ver: J. F. Botrel, *Libros, prensa y lectura en la España del s. XIX*, Madrid: Fundación Germán Sánchez Ruipérez, 1993; H. Escolar Sobrino, *Historia ilustrada del libro español. La edición moderna. Siglos XIX y XX*, Madrid: Fundación Germán Sánchez Ruipérez, 1996; J. A. Martínez Martín, *Historia de la edición en España 1836-1936*, Madrid: Marcial Pons Ediciones de Historia, 2001.

la energía y a finales del s. XVIII encontró su aplicación en los molinos papeleros, de modo que se empleó para mover el cilindro de la pila holandesa en sustitución de la energía hidráulica utilizada tradicionalmente. Asimismo, el interés que las máquinas suscitaban como elementos capaces de desarrollar cualquier tipo de trabajo también llegó al mundo del papel, en concreto al proceso de formación de la hoja. El primer sistema mecanizado de formación de la hoja de papel, la denominada “máquina plana”, fue desarrollado técnicamente por el inventor *Nicolás Louis Robert* quien contó con el apoyo financiero del papelero francés *Pierre-François Didot* en cuyo molino de las afueras de París trabajaba. En la máquina de *Robert* se sustituía la formadora por una cinta transportadora (una banda de tela sin fin) y la labor del operario por una noria que vierte la pulpa sobre la tela y por unos rodillos que homogeneizan la capa de pulpa de papel y le dan el grosor requerido. La gran ventaja de la nueva máquina era que permitía producir papel de tamaño indefinido, lo cual comercialmente era una gran ventaja en un momento en que el consumo de papeles pintados estaba en alza. En las primeras décadas del s. XIX se patentaron numerosos tipos de máquinas de papel continuo que fueron perfeccionando el proceso hasta obtener papeles con calidades aptas para la impresión. De este modo, con la difusión en las primeras décadas del siglo por Europa y Norte América de las nuevas máquinas -que fueron sustituyendo paulatinamente a los molinos-, se aceleró el proceso de fabricación del papel y se diversificó la oferta en cuanto a formatos¹⁰.

En este nuevo contexto -configurado por la creciente demanda de papel por parte de la actividad editorial, la posibilidad real de fabricar papel más rápida y eficientemente, así como el espíritu capitalista que impulsa las nuevas industrias-, una cuestión fundamental a la que tuvo que enfrentarse la incipiente industria papelera fue la referente a las materias primas. Pero ésta no era una cuestión nueva.

A lo largo de la historia, distintos pueblos en épocas y zonas geográficas diversas utilizaron diferentes materiales como soporte para sus textos. Los criterios básicos para su elección fueron i) su abundancia y fácil accesibilidad y ii) la posibilidad de ser transformados gracias a los conocimientos técnicos propios de cada pueblo y región.

10 Sobre los procesos de mecanización de la industria papelera ver: R. Clapperton, *The paper-making machine, its invention, evolution and development*, Oxford: Pergamon Press, 1967; F. Torrent, *Aspectos de la mecanización del papel en Actas del II Congreso de Historia del Papel*, Cuenca: Diputación de Cuenca, 1997, pp. 15-20; A. J. Valente, *Changes in print paper during the 19th Century* en Proceedings of the Charleston Library Conference, Charleston: Perdue University, 2010.

En los inicios de la cultura escrita, los pueblos mesopotámicos utilizaron la arcilla como soporte escriptóreo, material muy abundante en la zona y cuya tecnología conocían ampliamente. De forma paralela los egipcios eligieron el papiro, material que crecía copiosamente en las orillas del Nilo (no hay que olvidar que era el símbolo del Imperio del Bajo Egipto) y cuya manipulación y transformación era de sobra conocida por usarse en numerosos ámbitos de la vida cotidiana egipcia. Un factor importante en el amplio uso que se dio al papiro como soporte para la escritura, fue el floreciente comercio que los egipcios crearon a su alrededor, de modo que culturas como la griega y después la romana lo adoptaron sin reservas como soporte para sus escritos. Similar fue el inicio del uso del papel en China ya en la primera centuria de nuestra era.

Aunque en un principio los textos se plasmaron de forma generalizada sobre un soporte textil, pronto surgió la necesidad de encontrar un material más barato y accesible. Es probable que la idea de reaprovechar las estrechas tiras de tela que se desechaban cuando se cortaban los bordes de los documentos esté en el origen de la fabricación del papel. En China había un vasto conocimiento de las técnicas de hacer fieltros, por lo que es posible que se inspiraran en ella al concebir la idea de disgregar y entrelazar las fibras textiles formando una superficie lisa apta para la escritura. Comenzaron también a utilizar tallos de plantas comunes en la región como la morera, el cáñamo o el bambú, con los que obtenían resultados igualmente satisfactorios.

El uso de las diversas materias primas para la elaboración de los soportes escriptóreos se mantuvo mientras lograron satisfacer las necesidades de los distintos pueblos. Fueron los cambios en la accesibilidad a los materiales y la transformación del ámbito cultural los factores que impulsaron la búsqueda de nuevos materiales en los que consignar la expresión escrita de la cultura.

En Occidente, el encarecimiento y escasez del papiro, causado fundamentalmente por la dependencia comercial con respecto a las regiones productoras, ligado a la nueva manera de entender los textos escritos del cristianismo, impulsó el uso del pergamino. Las técnicas de curtición de las pieles animales eran de sobra conocidas y ya habían sido utilizadas con anterioridad como soporte de la escritura. Paralelamente, el conocimiento de las técnicas de manufactura del papel llegó al mundo árabe donde lo adoptaron como soporte escriptóreo de uso habitual. Los papeleros árabes abandonaron el uso directo de los tallos de las planta y se decantaron por el uso de trapos, es decir, optaron por utilizar como materia prima las fibras textiles ya procesadas. Además se centraron en el uso de trapos elaborados a partir de lino y cáñamo, muy abundantes en las regiones que habitaban. La técnica árabe de elaboración del papel se introdujo en Europa a través de Al-Andalus en el s. XII. Durante cientos de años, el papel convivió con el pergamino en toda Europa, hasta que la invención de la imprenta dio el impulso definitivo al

uso del papel, más barato y accesible así como más adaptable a las nuevas técnicas de impresión¹¹.

El uso de fibras textiles como materia prima de elaboración del papel se mantuvo sin grandes cambios en occidente hasta el s. XIX, momento en el que la industria papelera tuvo que adaptarse a una nueva situación cultural, económica y tecnológica. La escasez de trapos y su elevado coste (dependencia de la importación) impulsaron la búsqueda de nuevas materias primas que se adecuaran a las nuevas necesidades de producción tanto en volumen como en reducción de costes. Tal y como señala Dard Hunter, la búsqueda de nuevas fibras para la fabricación de papel no vino motivada por un deseo de descubrir materiales con mejores propiedades, sino por encontrar sustancias que fueran más abundantes y por tanto baratas, así como más fáciles de transformar en papel¹².

LA CIENCIA, PREOCUPADA POR EL PAPEL

Para la fabricación del papel es necesaria una materia prima de carácter fibroso que en medio acuoso produzca un reticulado química y físicamente estable. La larga experiencia de siglos había demostrado la idoneidad de las fibras vegetales procedentes de plantas de tallo no leñoso y de semillas de plantas como el algodón. Además, a lo largo del s. XVIII, científicos y eruditos estudiosos de los procesos artesanales habían recogido en sólidos tratados el conocimiento empírico relativo a las características que la pasta obtenida de las distintas fibras vegetales había de tener para ser adecuada en la producción de papel. Por tanto la tecnología para la transformación de los trapos de lino, cáñamo y algodón en pasta papelera era sobradamente conocida¹³.

11 Sobre la evolución de los soportes escriptóreos ver: D. Hunter, *Papermaking, The history and technique of an ancien craft*, Londres: The Cresset Press, 1957; H. Escolar Sobrino, *Historia del libro*, op. cit; A. Millares Carlo, *Introducción a la Historia del libro y las bibliotecas*, México D. F.: Fondo de cultura económica, 1993; G. Jean, *Writing, the story of alphabets and scripts*, Londres: Thames & Hudson, 2004; F. Barbier, *Historia del Libro*, Madrid: Alianza Editorial, 2005; M. Tagle de Cuenca, *Historia del libro: texto e imágenes*, Buenos Aires: Alfagrama, 2007.

12 D. Hunter, *Papermaking, The history and technique of an ancien craft*, op. cit., p. 311.

13 En España, por ejemplo, se encuentran los trabajos de Estaban Terreros y Pando o Pedro Araus, así como las traducciones de la *Encyclopédie* de Diderot y D'Alembert y del tratado de La Lande, *Art de faire la papier*. Un estudio más completo de este tema se encuentra en: J. L. Ávalos, *El pensamiento ilustrado sobre el progreso papelero español en el siglo XVIII* en *Actas del IV Congreso de Historia del Papel en España*, Sarriá de Ter (Gerona): Ayuntamiento de Sarriá de Ter, 2003, pp. 441-451.

Pero la inclusión del interés por los procesos artesanales dentro del circuito científico tuvo como consecuencia la apertura del camino hacia la innovación. Hecho que se refleja en la preocupación que científicos de distintas disciplinas mostraron por la búsqueda de nuevos materiales para la fabricación del papel. Muchos de ellos no se dedicaban a la investigación en este ámbito, pero en línea con el espíritu ilustrado, la funcionalidad del papel como elemento fundamental en la conservación y difusión del conocimiento y, en concreto del pensamiento científico, hizo que se plantearan este tema en sus trabajos. En este sentido, se pueden encontrar alusiones a nuevas materias primas para la fabricación del papel en trabajos de naturalistas, zoólogos y botánicos, disciplinas que se desarrollaron enormemente en esta centuria.

Por una parte, a lo largo de los s. XVII y XVIII, los trabajos de zoólogos y botánicos europeos se ocuparon de la clasificación de los animales y las plantas, de modo que fueron numerosas las investigaciones en torno a la descripción en profundidad de las especies vegetales y animales ya conocidas, así como de aquellas que se iban *descubriendo* gracias a las expediciones científicas a otros continentes. Los autores de algunos de estos trabajos relacionaron sus descubrimientos con el tema de la fabricación de papel.

Así, *Albert Seba*, boticario holandés muy interesado en la zoología y la botánica, en su libro *Locupletissimi Rerum Naturalium Thesauri* hace un llamamiento a la investigación en torno al uso de diferentes vegetales susceptibles de convertirse en pasta de papel¹⁴. A partir de sus investigaciones, *Seba* propone varios que le parecen adecuados:

*A mí me parece que à nuestros Payses no les faltan arboles convenientes para hacer Papel, si en ello quiere emplearse el gasto y el trabajo: La Alga marina, que se compone de filamentos largos, fuertes, y viscosos, no dexaría de ser útil al intento, del mismo modo que los Mattes de Moscovia, si se quisiesen preparar, como los japoneses disponen unos de sus árboles; los Curiosos podrán a lo menos hacer algún ensayo*¹⁵.

14 Albert Seba, *Locupletissimi Rerum Naturalium Thesauri*, Amsterdam: 1743-1765. Sobre los trabajos de Albert Seba ver también: La Lande, *Arte de hacer el papel, según se practica en Francia y en Holanda, en la China y en el Japón. De la Real Academia de la Ciencias de París. Traducida del francés por D. Miguel Gerónimo Suárez y Núñez*. Madrid: Imprenta de D. Pedro Marín, 1778.

15 Según la traducción hecha por D. Miguel Gerónimo Suárez y Núñez del texto incluido por La Lande en su manual.

La Lande, *Arte de hacer el papel, según se practica en Francia y en Holanda, en la China y en el Japón. De la Real Academia de la Ciencias de París. Traducida del francés por D. Miguel Gerónimo Suárez y Núñez*. op. cit., p. 193.

Pero en este sentido, la aportación más interesante y a su vez, más divulgada en su época, fue la de *René Antoine Ferchault de Réaumur*, destacado físico y naturalista francés. *Réaumur*, dentro de su trabajo *Memoires pour servir à l'histoire des insectes*, presentado en la Academia de París en 1719, incluyó un capítulo dedicado al estudio de una clase de avispas de Canadá (*Hymenopterus*, familia de las *Vespidae*). En él describía con todo detalle cómo estos insectos fabricaban una materia similar a un papel muy fino masticando madera. El científico francés hace una digresión en el discurso descriptivo de su texto para reflexionar sobre cómo la naturaleza mostraba al hombre una interesante vía para solucionar el problema de la escasez de materias primas para la fabricación de papel, problema de interés general ya a finales del s. XVII. Y, al igual que *Albert Seba*, propone a los interesados llevar a cabo las investigaciones necesarias para hacer posible el uso de la madera en la fabricación de pasta de papel. Incluso llega a lamentarse de no haber llevado a cabo él mismo dichos experimentos¹⁶.

Por otra parte, a lo largo del s. XVII se sentaron las bases de la anatomía vegetal gracias a los trabajos de *Marcello Malpighi* y *Nehemiah Grew*. Ambos científicos trabajaron de forma paralela pero independiente en el estudio de los tejidos vegetales. Gracias al desarrollo de la microscopía óptica fueron capaces de describir las estructuras que forman los tallos, frutos, semillas, hojas, raíces y flores de las distintos tipos de plantas. En la descripción de la estructura de los tallos, definieron las fibras como las partes sólidas de las plantas.

El mayor conocimiento de las estructuras vegetales llevó a diversos científicos, ya a lo largo del s. XVIII, a la experimentación de la fabricación de papel directamente con distintas especies vegetales. La clave en la sustitución de los trapos estaba en encontrar distintas plantas cuyos tallos fueran susceptibles de ser desfibrados y de convertirse en una pasta apta para la formación de la hoja de papel. Los ensayos iniciales, lógicamente, se realizaron con las plantas usadas tradicionalmente en la fabricación de papel –lino, cáñamo y algodón- y utilizando las técnicas tradicionales de transformación de las fibras textiles. Los primeros trabajos experimentales en esta línea de los que se tiene constancia, son los realizados por *Jean Etienne Guettard*, médico del Duque de *Orleans*. *Guettard*, con la colaboración de los operarios de un molino papelero cercano a la localidad de *Estampes*, experimentó con la pudrición y trituración directa de los tallos de cáñamo y algodón, logrando fabricar hojas de papel con la pasta obtenida. Los resultados de sus

16 René Antoine Ferchault de Réaumur, *Memoires pour servir à l'histoire des insectes*. París: Imprimerie Royale, 1734-1742.

Sobre los trabajos de Réaumur ver también: D. Hunter, *Papermaking, The history and technique of an ancien craft*, op. cit.

investigaciones fueron publicados en un tratado que incluía diversas muestras del papel obtenido en sus experimentos¹⁷.

Como era de esperar, los ensayos no se limitaron a los materiales ya conocidos, sino que se comenzó a experimentar con una gran variedad de plantas cuyas características apuntaban que eran adecuadas para transformarse en pasta papelera. Aunque *Guettard* ya incluyó en sus experimentos materiales como las algas propuestas por *Seba* en el siglo anterior, los trabajos más completos en este sentido los realizó *Christian Schäffer*, famoso botánico, entomólogo y micólogo alemán. *Schaffer* comenzó sus trabajos en colaboración con un papelerero de su localidad, pero prefirió continuarlos independientemente, para lo que se construyó un pequeño molino de mazos en su casa. Allí llevó a cabo los procesos de transformación de vegetales como el cáñamo, el malvavisco, la enea, el cardo o la patata, poco conocida todavía en Alemania. Utilizó los métodos conocidos en la época, incluyendo el uso de la cal en algunos casos, aunque en su mayoría refinó las fibras sin ningún tratamiento previo. La finalidad de sus trabajos no era conseguir un papel plenamente acabado, sino muestras que demostraran la posibilidad de usar una gran variedad de plantas como materia prima. Entre 1765 y 1771 publicó sus resultados una obra en la que reunió sus experimentos y muestras de más de 50 tipos de papel. En ella concluye que todo material que como el lino esté formado por fibras suaves, elásticas, fácilmente separables, que gracias a la acción del agua sean susceptibles de convertirse en pulpa y que al secar adquieran suavidad y firmeza, debe ser apropiado para transformarse en papel. Aunque hay que señalar que el científico mezcló las nuevas pastas con pasta de trapos de lino y algodón para lograr papeles de una calidad aceptable¹⁸.

También hubo aportaciones desde el ámbito del estudio de los minerales. Partiendo de la premisa de que para formar la hoja de papel hacía falta un material fibroso, algunos geólogos ya en el s. XVII propusieron el asbesto como alternativa. El asbesto o amianto es un mineral metamórfico fibroso compuesto por fibras largas y resistentes, susceptibles de ser separadas. Además, son lo

17 Jean Etienne Guettard, *Observations sur les plantes, par M. Guettard, Docteur en Médecine de la Faculté de Paris, de l'Académie Royale des Sciences, et Médecin Botaniste de S.A.S. Monseigneur le Duc d'Orléans*, París: Durand, 1757.

Sobre los trabajos de Guettard ver también: La Lande, *Arte de hacer el papel, según se practica en Francia y en Holanda, en la China y en el Japón. De la Real Academia de la Ciencias de París. Traducida del francés por D. Miguel Gerónimo Suárez y Núñez*. op. cit.

18 Jacob Cristhian Schäffer, *Proefnemingen en monster-bladen, om papier te maaken zonder lompen, of met een gering byvoegzel derzelve*, Amsterdam: Jan Christiaan Sepp, 1765-1771.

Sobre los trabajos de Schäffer ver también: D. Hunter, *Papermaking, The history and technique of an ancien craft*, op. cit.

suficientemente flexibles como para ser entrelazadas. Características que a priori hacían a este material candidato para la experimentación. Así, en 1684, *Edward Lloyd* realizó los primeros experimentos, aunque fracasó en su intento. Aunque en el siglo siguiente, el asbesto formó parte de los experimentos junto a las fibras vegetales y se llegó a la fabricación de papel a partir de este tipo de pasta, fue una línea de trabajo que se abandonó rápidamente.

No hay que olvidar el importante papel que en la difusión de estas investigaciones tuvieron los textos dedicados a las técnicas de producción papelera y publicados en la segunda mitad del s. XVIII. Así por ejemplo, *La Lande* incluye en su tratado sobre la fabricación del papel un capítulo dedicado a *las diferentes materias que podrían servir para hacer de ellas papel*. En dicho capítulo el autor hace una recopilación de todas aquellas fuentes documentales en las que se trata este tema. Así, no sólo hace referencia a los trabajos de *Seba*, *Guettard* y *Réamour*, sino que también incluye las descripciones que viajeros y misioneros de la época hacían del *arte de hacer papel* en culturas diferentes a la occidental, especialmente en culturas orientales como la china y japonesa con una amplia tradición en este campo. Son interesantes las conclusiones a las que *La Lande* llega. Por un lado, queda demostrado que es posible fabricar papel directamente a partir de las plantas sin haber pasado por el estado lienzo y que estas plantas se escogen por proximidad y abundancia. Por otro, concluye que las plantas idóneas son aquellas compuestas de fibras largas y longitudinales que se puedan separar sin destruirse gracias a la acción de los líquidos que se emplean para reducirlas a papel, formando así la pasta papelera; además, las fibras de esta pasta, al secarse, deben entrelazarse de nuevo y conservar su flexibilidad y porosidad¹⁹.

Este texto, difundido ampliamente al final del s. XVIII, refleja cuál era el estado de la cuestión en torno al tema de las materias primas para la fabricación de papel en los albores de la nueva centuria. Tanto las ciencias naturales como la antropología demostraban que era posible la transformación directa de vegetales en pasta de papel. Idea que cobraba fuerza en un contexto socio-económico en que el uso de trapos como materia prima trababa la expansión de un negocio en alza, a pesar incluso del aumento que se produjo en la oferta de trapos de algodón finales del s. XVIII. La gran difusión que los trabajos de *Schaffer* tuvieron en su época fue fundamental para despertar el interés de los papeleros, que comenzaron a ver factible desde un punto de vista técnico y económico el cambio de materias primas. A finales del s. XVIII aparecieron los primeros libros impresos únicamente en papeles fabricados con pastas procesadas directamente a partir de vegetales e instituciones como la *Society for de Encouragement of Arts, Manufactures and*

19 *La Lande, De las diferentes materias que podrían servir para hacer de ellas papel en Arte de hacer el papel, según se practica en Francia y en Holanda, en la China y en el Japón. De la Real Academia de la Ciencias de París. Traducida del francés por D. Miguel Gerónimo Suárez y Núñez. op. cit., p. 192-207.*

Commerce de Alemania impulsaron las investigaciones en este sentido²⁰. Impulso que comenzará a dar sus frutos en las primeras décadas del s. XIX. Hay que señalar que fueron los países anglosajones los que mayor interés pusieron, ya que la fabricación de papel comenzó a ser una industria clave en sus economías, de modo que la necesidad de liberarse de la lastra económica que suponía la importación de trapos fue cada vez mayor. Se intensificó la búsqueda de nuevas materias primas y de la tecnología necesaria para su transformación con la premisa fundamental de que fueran materiales abundantes y procesos rentables.

LOS PAPELEROS SE PONEN EN MARCHA

Diferentes líneas de investigación fueron llevadas a cabo de forma paralela y sus resultados se reflejaron en distintas patentes. En la elección de las nuevas especies vegetales susceptibles de convertirse en pasta de papel habían de tenerse en consideración una serie de factores. Las características de sus fibras debían posibilitar un adecuado refinado de la pasta que garantizara el entrelazado de las fibras durante el proceso de formación de la hoja. Además, la hoja ya conformada debía tener unas características mecánicas aceptables y admitir procesos de acabado que la hicieran apta para la impresión. Sin olvidar la premisa económica de su bajo coste.

La primera aventura comercial en este sentido fue la del empresario y papelerero inglés *Matthias Koops* quien en los primeros años del s. XIX construyó el primer molino papelerero dedicado exclusivamente a la producción a gran escala de papel fabricado a partir de pasta que no procedía de trapos. Koops patentó diferentes métodos para producir pasta de papel a partir únicamente de paja de cereales y , en un intento posterior, a partir de madera. Incluso patentó un método de destintado del papel ya impreso para su posterior reutilización como pasta de papel. Como muestra de los resultados de su trabajo, utilizó los nuevos tipos de papel por él fabricados para la edición de su libro *Historical Account of the Substances Which have been Used to Describe Events, and to Convey Ideas, from the Earliest Date, to the Invention of Paper*²¹ . Desafortunadamente, su fábrica de papel quebró tan sólo cuatro años después.

Los trabajos de *Koops* reflejan las líneas de trabajo que se iban a seguir en los años posteriores.

20 Sobre este tema ver: D. Hunter, *Papermaking, The history and technique of an ancient craft*, op. cit.

21 *Matthias Koops, Historical Account of the Substances Which have been Used to Describe Events, and to Convey Ideas, from the Earliest Date, to the Invention of Paper*, Londres: Impreso por Jacques & Co., 1801.

Por una parte, los trabajos se centraron en la obtención de pastas de papel a partir de nuevos materiales que pudieran ser correctamente procesados con la tecnología existente en el momento. Este era el caso de materiales diversos como el lino, el cáñamo, el esparto o las pajas de cereales y de otros residuos agrícolas, como los procedentes del maíz. La separación de las fibras vegetales para obtener estructuras fibrosas individuales se conseguía mediante los procesos tradicionales de maceración y refino. Tomando como punto de partida los trabajos experimentales realizados en el siglo anterior y los conocimientos cada vez más amplios de anatomía vegetal, científicos, técnicos y papeleros colaboraron de forma activa en la adaptación de los procesos de producción de pasta a las características de nuevas especies vegetales.

Dentro de estas investigaciones, las que resultaron más rentables desde un punto de vista económico y tuvieron una mayor difusión fueron las llevadas a cabo con las pajas de cereales. La paja es un material vegetal no leñoso muy heterogéneo que presenta la ventaja de no necesitar complejos tratamientos preliminares para su transformación en pasta. Los primeros papeles de pasta de pajas no resultaron de muy buena calidad, pero pronto se mejoraron las pastas gracias al mayor cuidado en la limpieza de las pajas y al uso de cal para su maceración. Tras el fracaso comercial de *Koops*, la pasta de paja comenzó a usarse hacia los Años 30 en Estados Unidos para la fabricación de papeles de impresión, aunque siempre mezclada con pasta de trapos para mejorar sus características²².

Por otra parte, aunque los primeros experimentos para procesar la madera con la tecnología existente no dieron muy buenos resultados, las posibilidades comerciales que ofrecía su uso impulsaron la investigación en torno al desarrollo de sistemas eficaces para su transformación en pasta. Como las características morfológicas de la madera dificultaban el proceso de desfibrado y, por tanto, de la obtención de una pasta apta para la formación de la hoja de papel, su uso como materia prima papelera pasaba por la innovación tecnológica. El primer resultado lo obtuvo en 1840 *Friedrich Gottlob Keller* quien patentó una máquina capaz de desfibrar la madera y fabricar con éxito una pasta apta para formar la hoja de papel, la denominada pasta mecánica. De forma paralela, *Charles Fenestry* consiguió en Nueva Escocia procesar pasta de madera con un sistema de muela similar al de *Keller*.

22 Sobre la fabricación de papel de paja ver: A. J. Valente, *Changes in print paper during the 19th Century* en *Proceedings of the Charleston Library Conference*, op. cit, ; J.P. Casey, *Pulpa y papel. Química y tecnología química, vol. I*, México D. F: Editorial Limusa, 1990; J. Navarro Sagristá, *Química de la fabricación del papel*, Alcoy: 1952; L. Jiménez Alcaide, *Pastas celulósicas de materias primas alternativas a las convencionales*, Écija: Editorial Gráficas Sol, 2005; J. A. García Hortal, *Fibras papeleras*, Barcelona: Edicions UPC, 2007.

Con la máquina de muela, la pasta de madera se obtenía mediante un proceso completamente mecánico, en el que los troncos de madera, sin corteza, se sometían a la acción de una muela en rotación. Dicha muela, de gran tamaño y giratoria, contaba con una superficie abrasiva que desprendía las fibras de la superficie del tronco. De esta manera, el desfibrado se producía gracias a combinación de la energía mecánica generada en la muela con las altas temperaturas que se alcanzaban por la fricción y la adición de agua que ayudaba al reblandecimiento de las fibras. Finalmente se obtenía una masa fibrosa apta para la elaboración del papel. Las características del proceso limitaban las especies de árboles que se podían utilizar, siendo la madera de coníferas, de fibras largas, la más adecuada. Pero la gran ventaja de este método eran los elevados rendimientos de fabricación, ya que al aprovecharse prácticamente todos los constituyentes estructurales originales del vegetal, se podía llegar a obtener rendimientos de hasta el 90-95% (mayores que cualquier otra de las especies vegetales no madereras utilizadas), lo cual era bastante prometedor para una industria en expansión. Además, los papeles obtenidos a partir de esta nueva pasta papelera presentaban buenas características para la impresión al tener una excelente opacidad y alta mano.

El desarrollo industrial del procesado mecánico de la pasta de madera comenzó en Alemania, de donde era originario *Keller*, gracias a la inversión del papelerero sajón *Heinrich Voelter*, quién en 1852 ya fabricaba de forma estable pasta de madera mecánica en su factoría de *Bautzen* para fabricar papel barato. Desde Alemania, la nueva tecnología se fue implantando en el resto de Europa y Norte América, siendo este tipo de papel ampliamente utilizado para la impresión de periódicos y revistas²³.

En este punto, es interesante señalar que uno de los principales escollos con los que tuvo que enfrentarse la industria papelera al cambiar de materias primas fue la calidad de los papeles obtenidos. Aplicando los métodos de pasteado conocidos, con las fibras textiles de lino, cáñamo y algodón se podían obtener pastas con muy buenas propiedades para la formación de la hoja de papel, de modo que el producto final presentaba unas características de resistencia, acabado y durabilidad óptimas.

23 Sobre la fabricación de pasta de madera mecánica ver: J.P. Casey, *Pulpa y papel. Química y tecnología química, vol. I*, op. cit.; J. A. García Hortal, *Fibras papeleras*, op. cit.; L. Jiménez Alcaide, *Pastas celulósicas de materias primas alternativas a las convencionales*, op. cit.; J. Navarro Sagristá, *Química de la fabricación del papel*; op.cit.; C. de la Macorra García, *Tratamiento de impregnación con álcali y peróxido de hidrógeno para reducir el consumo energético en la producción de pastas mecánicas: Modificaciones estructurales en la molécula de lignina. Memoria para optar al grado de doctor*, Madrid: Universidad Complutense de Madrid, 2004.

Pero las nuevas pastas obtenidas a partir de pajas y especialmente a partir de madera, presentaban una serie de inconvenientes que fueron rápidamente detectados por los fabricantes de papel: la inestabilidad del color y su escasa resistencia.

En primera instancia, los papeleros optaron por mezclar diferentes tipos de pastas para optimizar la calidad de sus productos y a la vez reducir costes, práctica que será muy común desde entonces en la industria papelera. Así, *Voelter* mezclaba la nueva pasta de madera con pasta de trapos para obtener papeles aptos para su comercialización y a la vez rentables. Pero el futuro estaba en la mejora de los sistemas de procesado de las nuevas materias primas y fundamentalmente de la madera, ya que era la más prometedora desde un punto de vista económico: accesibilidad a los recursos, alto rendimiento en pasta, etc.

La escasa calidad de las pastas de madera mecánica venía determinada principalmente por la deficiente separación de las fibras y por el deterioro que éstas sufrían durante el brusco proceso mecánico. Era necesario, por tanto, mejorar el sistema de procesado de la madera para conseguir una óptima separación de las fibras sin deteriorarlas en exceso, de modo que se garantizara su correcto entrelazado en la conformación de la hoja de papel.

El punto de partida se produjo en 1838 cuando *Anselme Payen*, figura fundamental en la industria química de la Revolución Industrial, identificó en la madera dos compuestos químicos diferentes: un compuesto fibroso al que denominó *cellulose* y un *materiel incrustant* al que posteriormente en 1857, *Schulze* denominaría, lignina. En sus experimentos, el químico francés utilizó una solución concentrada de ácido nítrico para oxidar la madera. A continuación lavó el residuo obtenido con una solución acuosa diluida de hidróxido de sodio, de modo que el *materiel incrustant* -la lignina- y otros componentes se disolvieron. Así consiguió aislar la celulosa del resto de componentes de la madera^{24, 25}.

La identificación de estos dos componentes de la madera llevó a los fabricantes de pulpa de papel a la conclusión de que era este material cementante el que impedía la buena separación de las fibras de la pasta de madera. Por tanto, las investigaciones se tenían que centrar en el desarrollo de sistemas que eliminaran este material. De este modo, científicos, ingenieros y papeleros en Europa y Norte América trabajaron a lo largo de todo el siglo en el desarrollo de procesos de pasteado basados en el uso de reactivos químicos cuya función debía ser disolver o degradar la lignina hasta el punto en que se podían separar las fibras de la madera sin apenas el uso de

24 *Anselme Payen, Memoires sur les développements des vegetaux*, Paris: [sn], 1842 (Imp. Royale).

25 Hay que señalar que la industria química a lo largo del s. XIX mostró un especial interés por el estudio de la madera, al ser un material clave en el desarrollo de muchos ámbitos industriales, especialmente la construcción. Los descubrimientos de *Payen* impulsaron diversas líneas de investigación en torno a la composición química de este material, especialmente en relación con sus propiedades mecánicas y sus procesos de degradación.

energía mecánica. El mayor inconveniente de estos procesos era la pérdida de rendimiento al eliminarse parte del material constituyente de la madera, pero la posibilidad de obtener pastas de mejor calidad y de poder usar un mayor número de especies arbóreas impulsó su desarrollo.

Varios fueron los retos a los que tuvieron que hacer frente los investigadores del s. XIX.

En primer lugar había que elegir el reactivo químico adecuado para producir una deslignificación eficaz pero que a la vez no degradara en exceso la celulosa. El objetivo era obtener una pasta de fibras bien separadas, flexibles, no deterioradas mecánicamente y que tuvieran una mayor capacidad que las pastas mecánicas para formar hojas de papel resistentes. La elección de los reactivos químicos fue evolucionando a medida que avanzaban las investigaciones en torno al conocimiento de la morfología y composición química de la madera y en particular de la lignina. Como en el s. XIX no se contaba con la tecnología necesaria para comprender éstas en profundidad, los procesos de deslignificación de la madera se basaron fundamentalmente en la experiencia y en el ensayo-error. En la línea de las investigaciones de *Payen*, el primer reactivo utilizado con éxito fue el hidróxido sódico. A principios de la década de los años 50, el papelerero inglés *Hugh Burgess* en colaboración con *Charles Watt*, patentaron el primer proceso de pasteado químico, conocido como proceso a la sosa, ya que consistía en deslignificar la madera cociéndola en una solución de hidróxido sódico a altas temperaturas. La industria papelera dio en este momento un paso fundamental al ser capaz de modificar químicamente la naturaleza de la madera. Pero la solución de hidróxido sódico, a pesar de ser muy eficaz a la hora de disgregar fibras muy lignificadas, presentaba varios inconvenientes: deterioraba la celulosa, originando fibras cortas, y además era difícil de eliminar por lavado de la pasta de papel. Aunque el proceso era sencillo de aplicar, no se obtenía una pasta papelera de excesiva calidad.

Posteriormente, las investigaciones se centraron en el uso de reactivos químicos de carácter ácido gracias a los trabajos que el científico estadounidense *Benjamin Tilghman* estaba realizando en relación con la disolución de las grasas en ácido sulfúrico. Fruto de la casualidad, *Tilghman* descubrió que la madera blanda se reblandecía y deformaba tras estar inmersa durante un largo periodo de tiempo en una solución de ácido sulfúrico. Años más tarde, al conocer los trabajos que el papelerero estadounidense *W.W. Harding* estaba realizando con pulpa de madera en su fábrica de *Manayuk*, aplicó su descubrimiento a la fabricación de pasta de madera. De este modo, demostró que la materia intercelular de la madera se disolvía en ácido sulfuroso cuando la presión y la temperatura eran elevadas. Esta es la base del procedimiento que *Tilghman*, en 1866, patentó en Estados Unidos: el proceso al sulfito, consistente en disolver la lignina, en condiciones de elevadas presión y temperatura, con una solución de ácido sulfuroso y bisulfito de calcio. El uso de reactivos de carácter ácido permitía obtener fibras de celulosa más largas, pero la existencia de residuos químicos ácidos entre las fibras hacía que se deterioraran con rapidez.

El último proceso propuesto en este siglo fue el patentado por *Karl Dahl* en Alemania en 1884 y en él aprovechaba las ventajas de los reactivos tanto de carácter ácido como de carácter básico para la deslignificación de la madera. Así, en su método la madera se sometía a un proceso de cocción en una solución de hidróxido de sodio y sulfuro de sodio a altas temperaturas. Este método, conocido como proceso *kraft* -palabra alemana que significa fuerte- ha sido el proceso industrial más importante y cuyo uso se impuso al resto. Su mayor cualidad era que permitía obtener papeles de elevada resistencia mecánica.

En segundo lugar, el uso de reactivos químicos requería el uso de materiales resistentes a su acción corrosiva, de modo que el desarrollo de los procesos químicos de pasteado estaba sujeto al avance técnico de nueva maquinaria y nuevos materiales como los aceros resistentes a la corrosión. Este fue uno de los principales escollos que *Tilghman* tuvo que superar para poner en marcha su proceso al sulfito. Además, era necesaria una importante inversión de capital para poner en funcionamiento una planta química de producción de pasta de papel. Es interesante señalar que en este momento se produjo una separación en los procesos de fabricación de papel, de modo que la obtención de la pasta papelera y la conformación de las hojas de papel comenzaron a realizarse de forma independiente en fábricas distintas. Por ejemplo, *Watt* y *Burgess* establecieron cerca de *Philadelphia* una planta de producción sólo de pulpa de papel a la sosa.

Finalmente, los procesos de pasteado químico originaban una serie de residuos -lejías negras- que era necesario eliminar o procesar de algún modo. En el furor de la Revolución Industrial los problemas ambientales que la industria podía causar no eran tenidos en consideración, pero sí que era un factor económico más a tener en cuenta ya que el uso de reactivos químicos encarecía la producción y su reutilización era una forma más de abaratar costes. La mayor facilidad a la hora de tratar los residuos producidos en el proceso *kraft* fue otro de los factores que inclinó la balanza a su favor²⁶.

Así pues, a finales del s. XIX la industria papelera disponía de diversos métodos de pasteado a partir de diferentes materias primas cada uno de ellos con ventajas e inconvenientes, tanto desde un punto de vista técnico como económico. Esto hizo que el abanico de posibilidades se ampliara considerablemente.

26 Sobre la fabricación de pasta de madera química ver: L. Jiménez Alcaide, *Pastas celulósicas de materias primas alternativas a las convencionales*, op. cit.; J. Navarro Sagristá, *Química de la fabricación del papel*; op.cit.; J.P. Casey, *Pulpa y papel. Química y tecnología química, vol. I*, op. cit., J. A. García Hortal, *Fibras papeleras*, op. cit.

El poder procesar pastas de papel que confirieran al producto final características físico-químicas diferenciadas, potenció el uso frecuente de mezclas con un doble objetivo: i) producir papeles que se adaptaran a las necesidades de un mercado cada vez más especializado y diversificado y ii) abaratar costes. Como ya se ha comentado, las primeras pastas mecánicas de paja o de madera se mezclaban con pasta de trapos. Posteriormente se siguió la misma política con la pasta de madera mecánica. Su bajo coste de producción hacía muy rentable su consumo, por lo que para mejorar sus propiedades físicas se le añadía pasta procesada mediante tratamientos químicos, de modo que era posible obtener papeles con buenas características para la impresión gracias a la pasta mecánica, pero más resistentes gracias a la pasta química.

La innovación tecnológica, que fue una constante a lo largo del s. XIX, no sólo dio origen a los sistemas de pasteado descritos, sino que impulsó mejoras importantes en algunos de ellos. En este siglo, el caso más significativo fue el proceso de desfibrado mecánico de la madera. De nuevo la rentabilidad de estas pastas, así como su calidad probada en la producción de papeles para la impresión -al menos a corto plazo-, llevaron al desarrollo de una nueva máquina, el desfibrador, que permitía obtener una separación más cuidadosa de las fibras y por tanto, pastas de mayor resistencia mecánica. Posteriormente, ya en el s. XX, las innovaciones tecnológicas llegarían a los procesos químicos.

Consecuencia del desarrollo de los sistemas químicos de pasteado de la madera fue su posterior aplicación a otras materias primas vegetales. Este fue el caso de las pastas de pajas de cereales. Ante los mediocres resultados que se obtenían con su procesado mecánico, incluso con la adición de cal, pronto se comprobó que con el proceso a la sosa se obtenían resultados más satisfactorios, pudiéndose fabricar papeles imprimibles con buena resistencia a la tracción aunque débiles al desgarrar y al plegado. Fue un tipo de pasta muy utilizada durante la segunda mitad del s. XIX para la fabricación de papeles baratos tanto para la escritura como la impresión.

Asimismo, las diferentes velocidades a las que los nuevos materiales y procesos de transformación se fueron introduciendo en las industrias papeleras de los diferentes países occidentales también propiciaron la convivencia de diferentes tipos de pasta de papel. Realidad que se hará mucho más compleja a lo largo del s. XX.

No hay que olvidar que las innovaciones que a lo largo del s. XIX se produjeron en la industria del papel no se limitaron a la elección de las materias primas y a los procesos de pasteo. También se produjeron importantes cambios en los sistemas de blanqueo, encolado y formación de la hoja que influyeron cualitativamente en la calidad de los papeles fabricados.

En consecuencia, las colecciones bibliográficas y documentales del s. XIX presentan una amplia variedad, no sólo desde el punto de vista de sus contenidos y formatos, sino también con respecto a la composición del papel en que están impresos sus ejemplares. Diversidad que les confiere un especial interés en relación con la historia y técnica del papel y, particularmente, con su

conservación. La composición de las nuevas fibras papeleras y, sobre todo, el uso de los nuevos sistemas de procesado, con la inclusión de reactivos químicos, originó una gran variedad de papeles de impresión cuya durabilidad y permanencia eran muy desiguales y que, en la mayoría de los casos, no estaban convenientemente testadas. Productos que fueron, sin embargo, profusamente utilizados y que hoy en día condicionan la conservación a largo plazo de estas colecciones.