

## Método experimental para consolidar fibras de papel. (I parte del estudio)

Alicia de Lera Santin, María Teresa Escohotado Ibor, Loïc J. Blum y Christophe A. Marquette

**Resumen:** En este artículo describimos un nuevo método enzimático para consolidar la celulosa del papel. Este método consiste en la síntesis de la celulosa con una enzima hidrolítica: la celulasa. Ésta actúa como una sintetasa, consolidando el papel cuando es mezclada en una solución orgánica de solvente/tampón (4:1) en presencia de un sustrato ( $\beta$ -cellobiosyl fluoride). Para mejorar el tratamiento añadimos un gel de agar-agar con todos los reactivos necesarios.

Para observar el estado de las fibras antes y después del tratamiento, realizamos test mecánicos y fotografías de microscopía electrónica de barrido. Se observó que el proceso de consolidación casi consigue recuperar el estado físico inicial de las fibras así como su resistencia al desgarre y alargamiento.

**Palabras Clave:** Consolidación, celulosa, enzima, celulasa, agar-agar.

**Abstract:** In this article we described a new enzymatic method to consolidate paper cellulose. The method involves the synthesis of cellulose, directly within the paper material, by the hydrolase enzyme: cellulase. The enzyme, used in a mixed solution of organic solvent/buffer (4:1) and in the presence of a specially designed substrate ( $\beta$ -cellobiosyl fluoride), acts as a synthetase and enabled the consolidation of both naturally and simulated aged papers. A special gel-like preparation based on agar polymer and including all the necessary reagents was used to easily perform the paper treatment.

Scanning electron microscopy and mechanical testing studies shown that the aged papers exhibited heterogeneous and cracked cellulose fibres together with low mechanical resistance. It was also shown that the consolidation process led to the recovery of smooth and un-cracked cellulose fibres with resistance to tearing and lengthening close to the initial ones.

**Keywords:** Consolidation, cellulose, enzyme, cellulase, agar-agar.

**Resumo:** Neste artigo descrevemos um novo método enzimático para consolidar a celulose do papel. Este método consiste na síntese da celulose com uma enzima hidrolítica: a celulasa. Esta actua como uma sintetasa, consolidando o papel quando é misturada numa solução orgânica de solvente/tampão (4:1) em presença dum substrato ( $\beta$ -cellobiosyl fluoride). Para melhorar o tratamento acrescentamos um gel de *agar-agar* com todos os reactivos necessários.

Para observar o estado das fibras antes e depois do tratamento, realizamos test mecânicos e fotografias de microscopía electrónica de varrido. Observou-se que o processo de consolidação quase se consegue recuperar o estado físico inicial das fibras assim como a sua resistência ao desgarre e alargamento.

**Palavras-chave:** Consolidação, celulose, enzima, celulasa, *agar-agar*.

---

### Introducción

En muchos procesos de conservación y restauración de obras de arte, los restauradores suelen emplear productos tóxicos, alergénicos e incluso cancerígenos (principalmente disolventes volátiles). Algunos de estos tratamientos químicos con disolventes podrían ser remplazados por una química más “verde”, mediante el uso de enzimas específicas previamente seleccionadas.

La utilización de enzimas en restauración surgió en los años setenta cuando Wendelbo O. & Fosse B.<sup>1</sup> aplicaron por primera vez una enzima proteolítica sobre diversos manuscritos. Pero habría que esperar hasta la década siguiente para observar un desarrollo en el empleo de hidrolasas para limpiezas y otros tratamientos de obras de arte. Los siguientes investigadores F. Makes<sup>2-3-4</sup>, Segal and Cooper<sup>5-6</sup>, Wolbers<sup>8,9</sup>, De La Chapelle<sup>7</sup>, Cremonesi<sup>7-10-11-12</sup>, Belluci<sup>10-11</sup> y Banik<sup>7</sup> han sido grandes precursores del uso de enzimas, inspirando a muchos restauradores e investigadores en el empleo de estas proteínas poliglobulares. La mayoría de estos estudios están centrados en la eliminación de adhesivos, proteínas, almidones y triglicéridos<sup>8,13</sup>.

Nuestra investigación se centró en la consolidación de la celulosa en soportes de papel (Fig. 1-a) mediante una reacción catalizada por enzimas. Las degradaciones que se producen en el papel son debidas principalmente a la oxidación y a la hidrólisis de la estructura polimérica de la celulosa (Fig. 1-b, c). Los principales problemas para la integridad mecánica del papel son la hidrólisis ácida<sup>7,14</sup> (Fig. 1-b), que provoca la segmentación de las cadenas de celulosa. Algunos de los fragmentos de celulosa producidos se van perdiendo debido a sus pobres propiedades mecánicas.

Normalmente para reforzar los papeles degradados se utiliza el gel de metilcelulosa o de carboximetilcelulosa de sodio cuando los papeles aún conservan su resistencia mecánica y/o la laminación con diferentes técnicas cuando el papel está muy degradado y no queda otra solución.

El planteamiento adoptado en este estudio está basado en los trabajos realizados por Kobayashi et al.<sup>15,16</sup> sobre la síntesis in vitro de la celulosa usando celulasas, enzimas hidrolíticas, en unas condiciones específicas con un solvente orgánico.

Esta reacción fue desarrollada para llevar a cabo in situ la re-síntesis de la celulosa en los documentos envejecidos (de forma natural o aceleradamente). Posteriormente se desarrolló una técnica con un gel de agar para el tratamiento de los papeles envejecidos. Para observar las fibras fueron utilizados dos técnicas: la microscopía electrónica de barrido y test mecánicos de resistencia a la tracción y alargamiento.

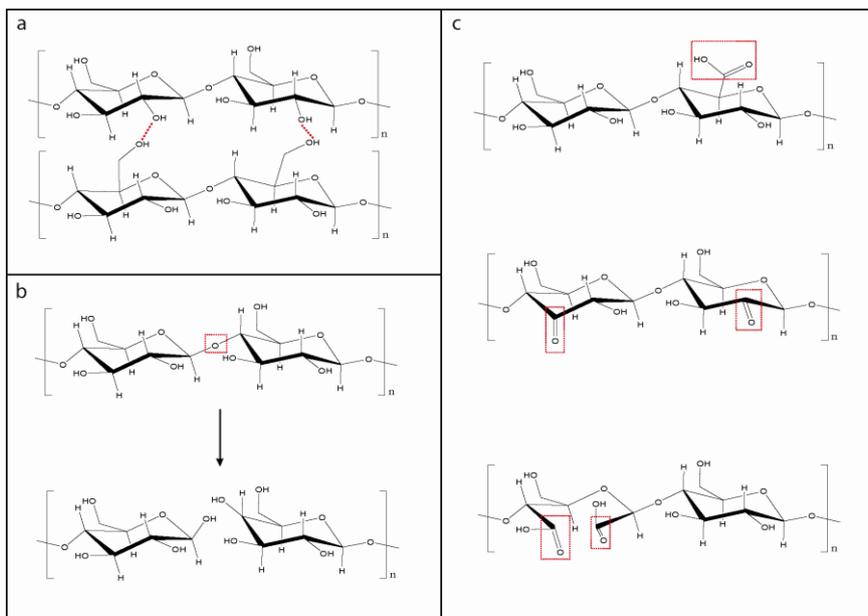


Figura 1. a) Estructura de los polímeros de homosacáridos y puentes de hidrogeno (en rojo) de las fibras de celulosa, b) hidrólisis que se produce durante el envejecimiento de las fibras de celulosa y c) posible reacción de oxidación de las fibras de celulosa.

## Materiales y métodos

### *Materiales*

Cellulase (EC 3.2.1.4. from *Trichoderma viride*) de Sigma.  
 $\beta$ -cellobiosyl fluoride<sup>17</sup> sintetizado por Dr. J. Schulz (Ezus-Lyon 1).

### *Papeles envejecidos de forma natural y aceleradamente.*

En nuestra primera fase de investigación fotodegradamos<sup>18</sup> papel blanco A4 de 80 g.m<sup>2</sup> (Claire-Fontaine, adquirido en Francia y Extra Strong, comprado en Italia). El papel era cortado en fragmentos de 15cm\*20cm y posteriormente envejecidos según las normas UNE 57092-1:2002 Papel y cartón. Envejecimiento acelerado. Parte 1: Tratamiento con calor seco a 105° C. y UNE 57092-1:1991 UNE 57092-4:2002 Papel y cartón. Envejecimiento acelerado. Parte 4: Tratamiento con calor húmedo a 80° C y 65 % de humedad relativa. También envejecimos el papel exponiéndolo a luz ultravioleta (UV) a una radiación de 399 julios en una máquina Bio-Link-BLX-E254 con una humedad relativa del 65%.

También fue empleado un papel de un libro sin ningún tipo de valor histórico, artístico o sentimental que había envejecido de forma natural y tenía aproximadamente 50 años.

### *Solución enzimática y protocolo para consolidar papel (primeras pruebas)*

Para las primeras pruebas cortamos los papeles envejecidos artificialmente en fragmentos de 1 cm<sup>2</sup> y luego los tratamos con una solución compuesta por 400  $\mu$ l de acetonitrilo, 100  $\mu$ l de tampón acetato 0.05 M pH 5,5, 0.25 mg/ml de enzima celulasas y 5 mM de  $\beta$ -cellobiosyl fluoride.

Las porciones de papel eran sumergidas en la solución enzimática reparadora y permanecían allí durante dos horas a temperatura ambiente (Fig.2-a). Posteriormente, los fragmentos de papel eran lavados dos veces con 400  $\mu$ l de acetonitrilo y 100 $\mu$ l de tampón acetato 0.05 M pH 5 durante 15 minutos.

### *Gel enzimático y protocolo para la consolidación de papel*

El gel enzimático estaba compuesto por un gel (agar) al 1% en tampón acetato (10mg de agar en 1ml de tampón acetato). Este porcentaje de biopolímeros fue escogido para permitir la libre difusión de la enzima a través del gel. La preparación del gel consistía en un calentamiento inicial de 80-90° C para disolver completamente el polímero; después lo dejábamos enfriar hasta 35-36° C sin que gelificase, para poder mezclar la solución enzimática sin que ésta perdiese su actividad enzimática a causa de una temperatura excesiva que desnaturalizase las enzimas.

La celulasa y su sustrato fueron preparados en 15mL de acetonitrilo/tampón (4:1) y posteriormente, mezclados con 30 ml de gel ya preparado para alcanzar la concentración descrita anteriormente: 0.25 mg/ml y 5 mM, respectivamente.

Para evitar posibles restos de gel sobre el papel y una posible proliferación de hongos, interponíamos un film de polipropileno (reemay) entre el gel y el papel mientras la solución enzimática penetraba en el papel. (Fig.2-b).

Los fragmentos de aproximadamente 1 cm<sup>2</sup> fueron tratados con el gel enzimático durante dos horas y posteriormente depositados sobre papeles secantes embebidos con acetonitrilo/tampón acetato (4:1) durante 10 minutos para lavar y eliminar la enzima hidrolítica. Para inhibir posibles restos de enzima se lavó el papel con una mezcla de agua y etanol (al 1%) durante 5 minutos.

Para realizar test mecánicos, se necesitaron trozos más grandes de papel de 300 cm<sup>2</sup> (15 cm\*20 cm) que fueron tratados de la misma manera que los pequeños.

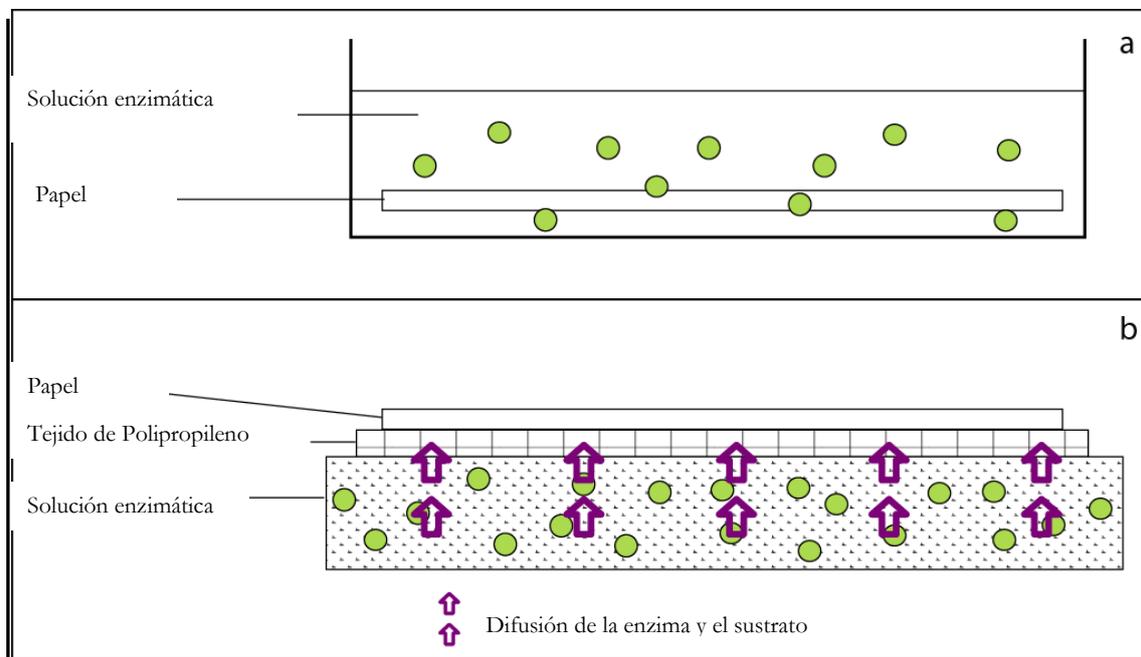


Figura 2. Representación esquemática de la consolidación usando a) una solución enzimática b) un gel enzimático

### *Microscopio electrónico de barrido*

La superficie de los papeles fue metalizada con una deposición de oro (15 mA, 90 sec.) y posteriormente realizamos fotografías con microscopía electrónica de barrido (SEM) a 20 kV (Philips XL 20).

## Resultados y Discusión

La celulosa es un componente presente en muchos documentos antiguos y modernos. Es un homopolisacárido cuya principal cadena está compuesta por la repetición de un mismo disacárido, la celobiosa (Fig.1-a). Estos polímeros (sacáridos) atraen la atención de los científicos por su potencial como nuevos biomateriales y como drogas poliméricas.

Las dificultades para lograr la síntesis *in vitro* de estos polímeros ha provocado el desarrollo de procedimientos especiales y sustratos enzimáticos <sup>15, 16, 19</sup>.

Para el presente estudio, investigamos el uso de enzimas hidrolíticas, las celulasas, para la síntesis *in vitro* de la celulosa. Esta enzima ha demostrado ser capaz de catalizar la síntesis de los homopolisacáridos cuando es utilizada en una solución compuesta por acetonitrilo/tampón acetato (4:1) y en presencia de un sustrato especial  $\beta$ -cellobiosyl flúor (Fig. 3)

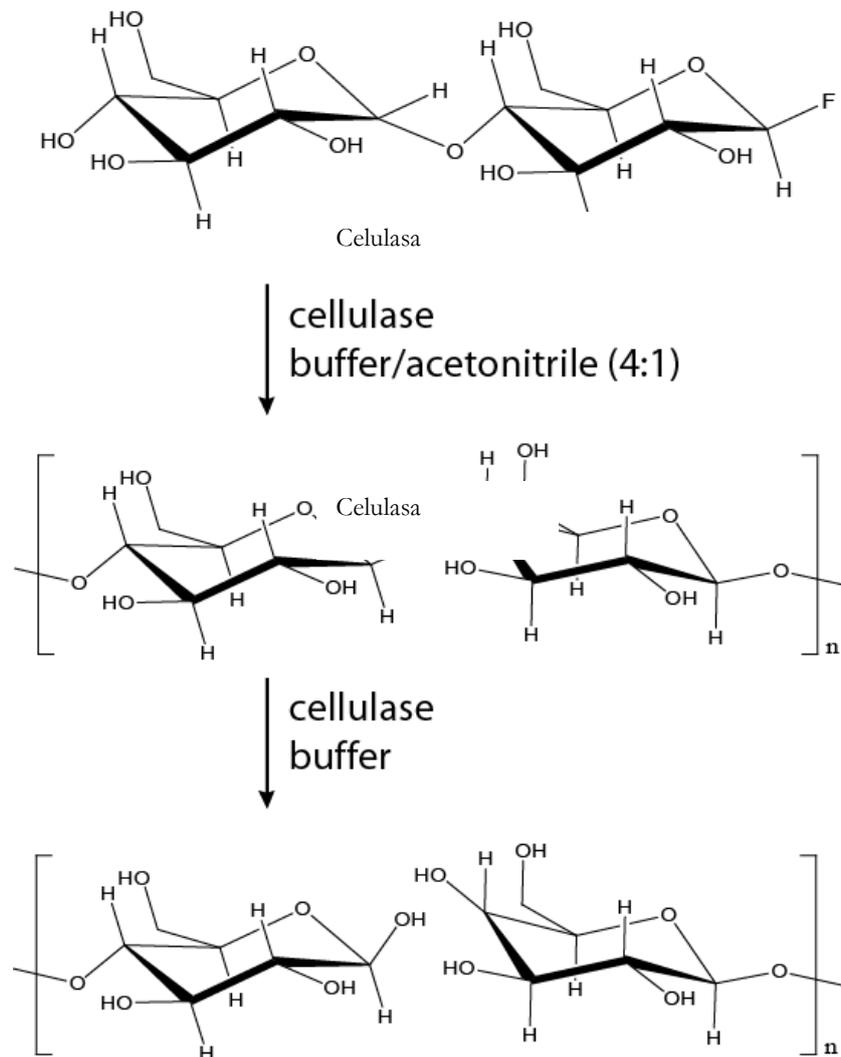


Figura 3. Las dos posibles reacciones que se pueden producir por la catálisis de las celulasas que dependen de la solución utilizada.

Para observar los efectos de nuestro tratamiento, recurrimos a la microscopía electrónica de barrido (SEM) para ver el papel de 50 años antes y después del tratamiento enzimático de dos horas.

La figura 4-a fue escogida por mostrar en primer plano, la degradación de una fibra de papel envejecida de forma natural; observamos las fibras de celulosa, heterogéneamente resacas y craqueladas.

Después del tratamiento enzimático del papel (Fig.4-b), observamos una clara mejora de la homogeneidad de las fibras con la eliminación de los craquelados. Por lo tanto nuestro método parece actuar directamente sobre el material: las fibras de celulosa.

Sin embargo, la aplicación directa de la solución enzimática sobre el papel, era un sistema demasiado agresivo. Por un lado, la inmersión prolongada de la muestra en la solución enzimática y la posterior limpieza con el tampón tenían un efecto negativo en el papel. Por otro lado, las fluctuaciones de la temperatura de la habitación del laboratorio provocaban una variación de la actividad enzimática de la solución. De hecho, si no controlamos la evaporación del solvente

orgánico durante el tratamiento, puede producir la hidrólisis de la celulosa (Fig.3) ya que la reacción (hidrólisis o síntesis de la enzima) está directamente proporcionada con la proporción de acetonitrilo en la solución reparadora.

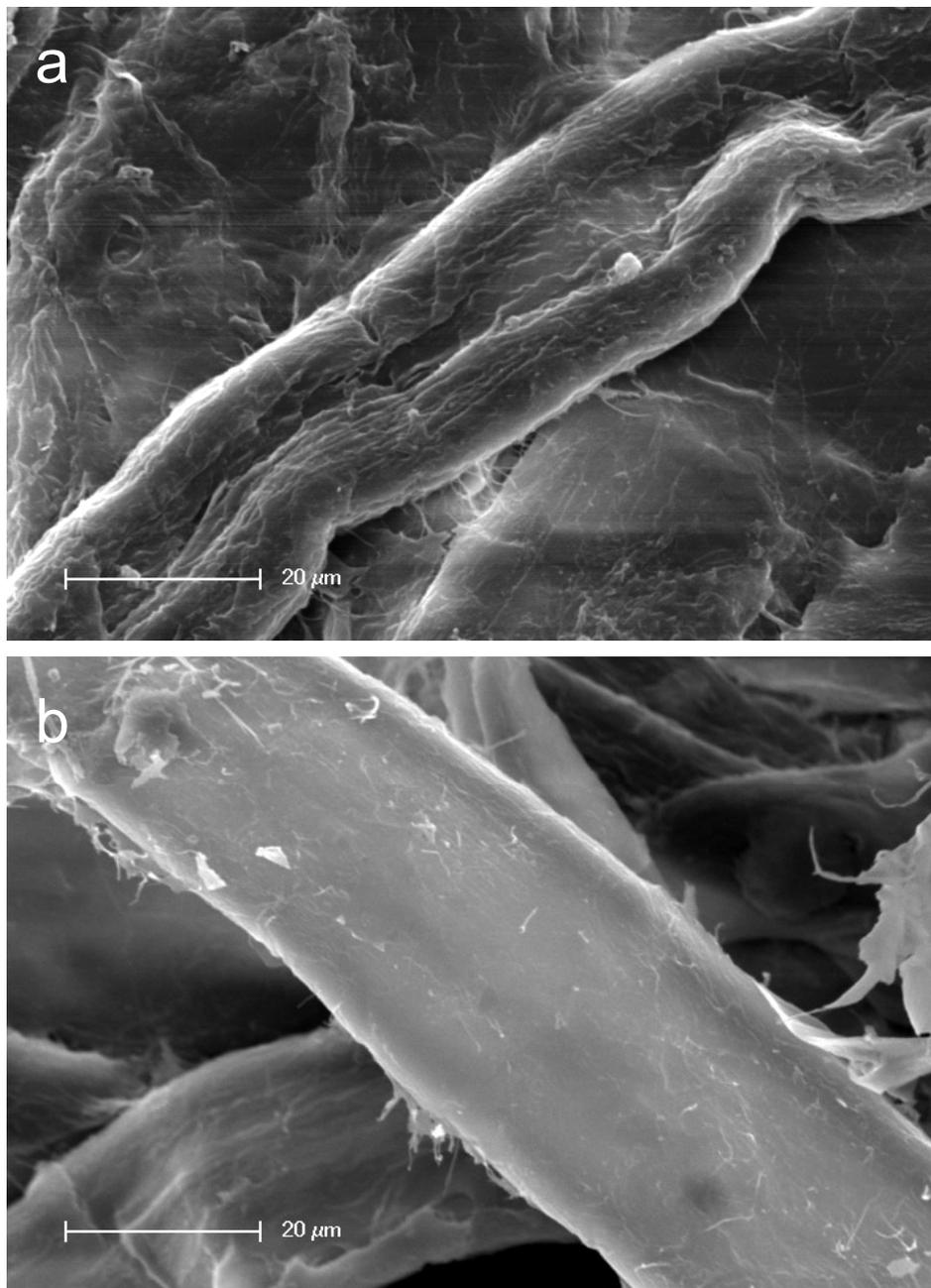


Figura 4. Imágenes de microscopía electrónica de un papel de 50 años a) antes y b) después de la consolidación usando una solución enzimática.

Por estas razones, consideramos como opción el uso del gel enzimático. En efecto, usando una matriz de polímeros impide la evaporación excesiva del solvente, reduce las excesivas variaciones de la humedad, y facilita el manejo y aplicación de la solución. En restauración, se utilizan varios tipos de geles compatibles con las obras de arte. La Metilcelulosa, el carboximetil celulosa de sodio, el

agar...son unos de los geles más empleados en limpiezas de obras de arte<sup>20, 21</sup>. Optamos por el agar<sup>22, 23</sup>, un polisacárido extraído de las algas rojas *Agarophytas*. Este polímero fue escogido por ser inerte en la hidrólisis de la enzima hidrolítica usada.

Para este estudio necesitamos envejecer gran cantidad de papel según las normas UNE anteriormente citadas. Las figuras 5-a y 5-b son imágenes del papel antes y después del envejecimiento acelerado, obtenidas con un microscopio electrónico de barrido (SEM). Como podemos observar, el tratamiento de envejecimiento acelerado degrada claramente el papel. En el caso del papel de 50 años, existen evidentes craquelados heterogéneos en el papel.

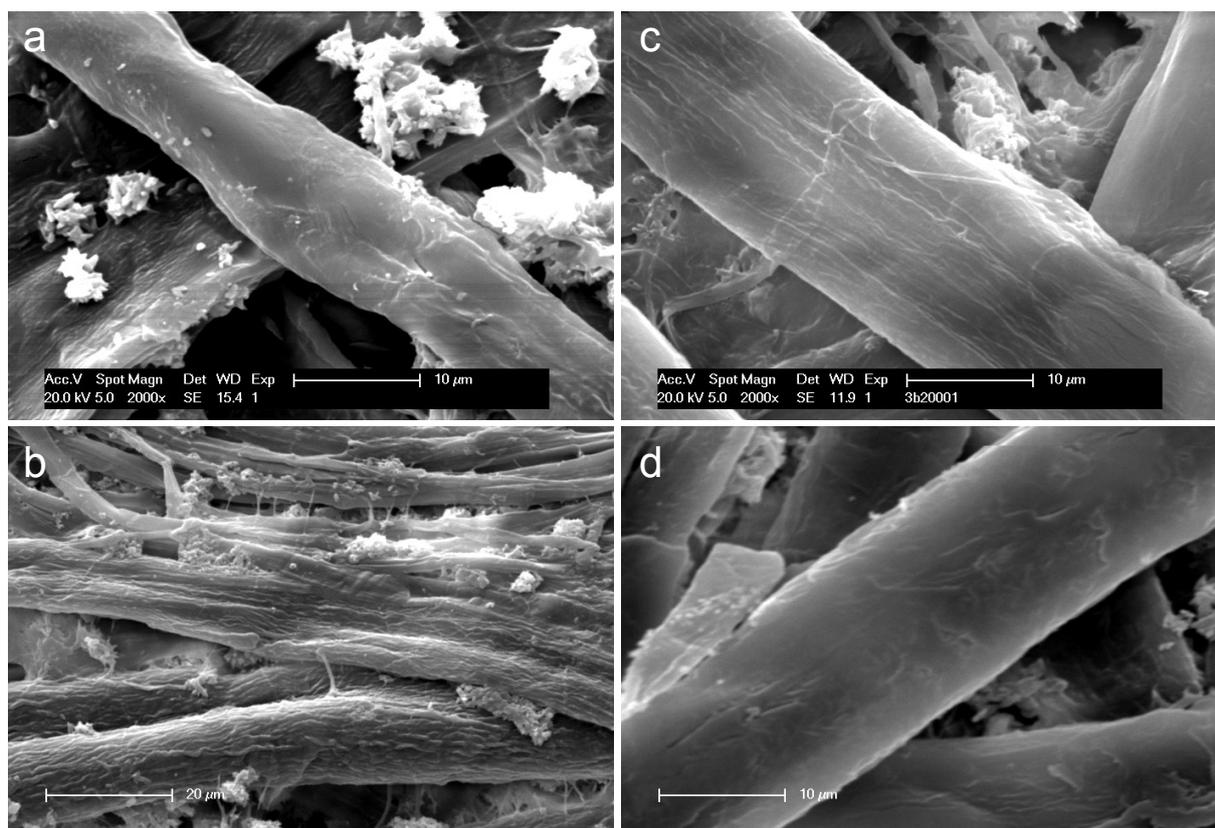


Figura 5. Imágenes de microscopía electrónica de barrido del papel blanco de fotocopiar a) antes y b) después del envejecimiento acelerado y antes del tratamiento del gel enzimático c) con acetonitrilo o d) con etanol.

Durante el tratamiento del papel con el gel enzimático, añadimos un separador de polipropileno (reemay) entre el gel y el papel para prevenir que ningún depósito o resto del polímero permaneciese sobre el papel tratado (Fig.2-b). De esta manera, sólo la solución de celulasas con el acetonitrilo/tampón y su sustrato es capaz de ser difundido en contacto con la muestra. Como muestra la imagen SEM de la figura 5-c, se obtiene un mejor aspecto del estado de las fibras de celulosa después del tratamiento con el gel de enzimas. Las fibras están más lisas y tienen una superficie homogénea. Fueron obtenidos parecidos resultados usando un gel enzimático preparado a base de una solución de etanol/tampón que es caracterizado por una baja toxicidad para el restaurador y el medio ambiente, debido a la baja toxicidad del solvente orgánico utilizado (Fig.5-d).

Posteriormente realizamos test mecánicos para determinar completamente la consolidación del papel con el tratamiento enzimático. Los test mecánicos realizados (D.Y. 20, ISA division

d'instruments S.A.) analizaban la resistencia del papel a la rotura (daN) y al alargamiento (mm). Cada muestra se cortaba en tiras de 1,5cm de ancho y 18 cm de largo. Con el fin de obtener resultados fiables, debíamos cortar mínimo 10 tiras en sentido longitudinal y otras 10 en sentido transversal. Los resultados obtenidos se observan en la figura 6. Como se puede ver, la resistencia a la rotura desciende después del envejecimiento y aumenta claramente después del tratamiento enzimático. Por otra parte, el alargamiento de las fibras tratadas es bastante superior al valor obtenido por el papel envejecido. Este resultado revela una vez más que el tratamiento enzimático mejora la integridad de la estructura del papel.

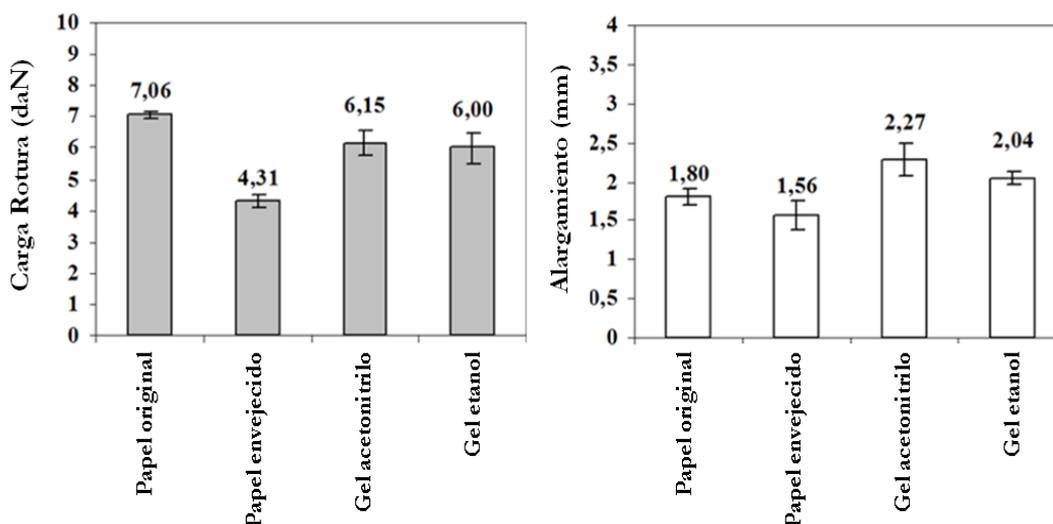


Figura 6. Resultados de los test mecánicos de los papeles blancos de fotocopiar antes y después del envejecimiento acelerado y después de la consolidación utilizando un gel enzimático preparado con acetoniitrilo o etanol.

## Conclusiones

La consolidación del papel utilizando una reacción enzimática ha sido descrita y demostrada. El gel de agar con todos los reactivos necesarios fue utilizado para mejorar el tratamiento del papel. Todos los test realizados para verificar la acción reparadora de los tratamientos enzimáticos con el gel, han probado que las fibras de celulosa han mejorado tanto físicamente como mecánicamente.

A pesar de estos resultados satisfactorios, el tratamiento debe ser usado con la máxima prudencia y el mayor respeto hacia las obras de arte. Siendo necesario antes de cualquier operación, comprobar si el tratamiento es compatible con los componentes de la obra de arte (pigmentos, colorantes, etc.).

Esta investigación preliminar es un primer paso para conseguir una herramienta en restauración que sea respetuosa con el restaurador, la obra de arte y el medio ambiente. Pero aún debemos realizar muchos más test a otro tipo de papeles, con y sin técnicas pictóricas, para observar la interacción de este método con una superficie celulósica pintada.

## Agradecimientos

Parte de este trabajo fue subvencionado primero por la beca de La Caixa y posteriormente por la beca predoctoral del Gobierno Vasco concedida a A. De Lera Santín.

Debemos agradecer a Juan Carlos Villar y Nuria Gómez del INIA por dejarnos realizar los test mecánicos, al Prof. P. Perriat por permitirnos efectuar las fotografías con el microscopio electrónico de barrido, así como a José Luiz Pedersoli del ICCROM por su ayuda.

## Bibliografía

- [1] WENDELBO, O.; FOSSE, B. (1970), "Protein Surgery. A Restoring Procedure Applied on Paper", *Restaurator*, 1:245-248.
- [2] MAKES, F. (1979) *Enzymatic consolidation of paintings*, Goteborg: Department of History of Art and Architecture University of Goteborg
- [3] MAKES, F., (1982) "Enzymatic consolidation of a painting: Seventeenth century landscape from Skokloster Palace", En *Science and technology in the service of conservation. Preprints of the contributions to the Washington congress*, London: International Institute for Conservation, 135-138.
- [4] MAKES, F. (1988) *Enzymatic consolidation of the portrait of Rudolf II as "Vertumnus" by Giuseppe Arcimboldo with a new multi-enzyme preparation isolated from Antarctic Krill ( Euphausia superba)*, Göteborg: Acta universitatis gothoburgensis5. SEGAL, J., COOPER, D. (1977) "The use of enzyme to release adhesives", *Paper Conservator*, 2: 47-50.
- [6] COOPER, D., KING, C., SEGAL, J. (1980) "The use of Enzymes in partially non aqueous media", En *Conservation of Library and Archive Materials and the Graphic Arts: Abstracts and Preprints of the International Conference on the Conservation of Library and Archive Materials and the Graphic Arts*, Cambridge: Institute of Paper Conservation and The society of archivists, 25-30.
- [7] BANIK, G.; CREMONESI, P.; DE LA CHAPELLE, A.; MONTALBANO, A., (2003) *Nuove metodologie nel restauro del materiale cartaceo*. Padova: Il prato.
- [8] WOLBERS, R., (2000) *Cleaning painted surfaces: Aqueous methods*. London: Archetype Publication.
- [9] WOLBERS, R. C., (2000) *Abstracts Of Papers Of The American Chemical Society*, 220, U396-U396.
- [10] BELLUCI, R.; CREMONESI, P., (1994) "L' uso degli enzimi nella conservazione e nel restauro dei dipinti". *Kermes, arte e tecnica del restauro*, 26: 45-64.
- [11] BELLUCCI, R.; CREMONESI, P.; PIGNAGNOLI, G., (1999) "A preliminary note on the use of enzymes in conservation: the removal of aged acrylic resin coatings, with lipase" *Studies in Conservation*, 44 (4): 278-281.
- [12] CREMONESI, P., (2002). *L'uso degli enzimi nella pulitura di opere policrome*. Padova: Il prato
- [13] GRATTAN, D.; ST. HILAIRE, J.; BURGESS, H.; MCCAWLEY, J. C., (1987) "The use of enzymes in partially non-aqueous media". En *Conservation of Library and Archives Materials and the Graphic Arts*, London: G. Petherbridge, Butterworths, 15-24.
- [14] VAN DER REYDEN, D., (1992) "Recent Scientific Reserch in çpaper Conservation". *Journal of the American Institute for Conservation*, 31 (1): 117-138.

- [15] KOBAYASHI, S.; SHODA, S.-i., (1995) "Chemical synthesis of cellulose and cello-oligomers using a hydrolysis enzyme as a catalyst" *International Journal of Biological Macromolecules*, 17, (6): 373-379.
- [16] SHODA, S.; KHORI, M.; KOBAYASHI, S., (2005) "Glycosidase-catalyzed synthesis of oligosaccharides through intermediate analogue substrates". En *Biocatalysis: chemistry and biology* Trivandrum: Research Signpost, 83-98
- [17] SHODA, S.; OKAMOTO, E.; KIYOSADA, T.; KOBAYASHI, S., (1994) "Synthesis of 6- and/or 6-O-Methylated Cellobiosyl Fluorides: New Monomers for Enzymatic Polymerization". *Macromolecular Rapid Communications*, 15, (10): 751-756.
- [18] CAMPANELLA, L.; BATTILOTTI, M.; COSTANZA, C., (2005) "Studies on simulated ageing of paper by photochemical degradation", *Annali di Chimica*, 95 (11-12): 727-740.
- [19] SCHUSTER, M.; WANG, P.; PAULSON, J. C.; WONG, C.-H., J. (1994) "Solid-phase chemical-enzymatic synthesis of glycopeptides and oligosaccharides", *Am. Chem. Soc.*, 116 (3):1135-1136.
- [20] BUTAZZONI, N.; CASOLI, A.; CREMONESI, P.; ROSSI, P., (2000) "Preparazione e utilizzo di gel enzimatici, reagenti per la pulitura di opere policrome", *Progetto restauro*, 16: 11-19.
- [21] BAGLIONI P., DEI L., CARRETTI E., GIORGI R., (2009) "Gels for the Conservation of Cultural Heritage", *Langmuir XXXX American Chemical Society*: 10.1021/la900961k A-B
- [22] HORIE, C. V., (1987) *Materials for conservation, organic consolidants, adhesives and coatings*. Oxford: Architectural Press.
- [23] CAMPANI, E, CASOLI, A., CREMONESI, P., SACCANI, I., SIGNORINI, E., (2007) *L'uso di agarosio e agar per la preparazione di "gel rigidi"* Use of agarose and agar for preparing rigid gels, Saonara : Il prato.
- 



**Doctoranda Alicia de Lera Santín,**

Laboratoire de Génie Enzymatique et Biomoléculaire  
UMR CNRS 5013. Bat. CPE - Université Claude Bernard Lyon 1  
43 Bd. du 11 Nov. 1918. 69622 Villeurbanne Cedex  
Universidad del País Vasco UPV-EHU. Facultad de Bellas Artes  
Campus de Leioa, B° Sarriena, s/n. 48940 Leioa (Vizcaya)  
[alilera\\_10@hotmail.com](mailto:alilera_10@hotmail.com)

**Alicia de Lera Santín.** Licenciada en Bellas Artes (2004), ha obtenido diferentes becas: *La Caixa*, *Real Academia de España en Roma* y *Gobierno Vasco*, permitiéndole desarrollar la tesis que lleva a cabo sobre aplicaciones enzimáticas en Restauración y Conservación de Obras de Arte.



**Catedrática Maria Teresa Escohotado Ibor**

Universidad del País Vasco  
Facultad de Bellas Artes  
Campus de Leioa, Bº Sarriena, s/n  
48940 Leioa (Vizcaya)  
[mtescohotado@hotmail.com](mailto:mtescohotado@hotmail.com)

Catedrática en conservación y restauración de obras de arte del Departamento de pintura de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad del País Vasco. Realizó la tesis sobre “Conservación y restauración de arte contemporáneo sobre lienzo”. Cuenta con más de 30 años de docencia, numerosos proyectos de investigación I+D, I+D+i, programa Erasmus así como proyectos de innovación educativa.



**Dr. Loïc Blum**

Laboratoire de Génie Enzymatique et Biomoléculaire,  
UMR 5246: Institut de Chimie et Biochimie Moléculaire et Supramoléculaire,  
CNRS-Université Lyon 1  
Bât CPE, 43, bd du 11 novembre 1918 - 69622 Villeurbanne (France)  
[Loic.Blum@univ-lyon1.fr](mailto:Loic.Blum@univ-lyon1.fr)

**Loïc J. Blum**, received the “Doctorat de spécialité” (1983) in Biochemistry and the “Doctorat d’Etat et Sciences” (1991) from the “Université Lyon 1”. He is presently Professor and the head of both “Institut de Chimie” and “Biochimie Moléculaires et Supramoléculaires” (CNRS-Université Lyon 1).



**Dr. Christophe Marquette**

Laboratoire de Génie Enzymatique et Biomoléculaire,  
UMR 5246: Institut de Chimie et Biochimie Moléculaire et  
Supramoléculaire,  
CNRS-Université Lyon 1  
Bât CPE, 43, bd du 11 novembre 1918 - 69622 Villeurbanne (France)  
[christophe.marquette@univ-lyon1.fr](mailto:christophe.marquette@univ-lyon1.fr)

**Christophe Marquette** received the “Doctorat de spécialité” in Biochemistry (1999) from the Université Lyon 1. He is presently permanent researcher at the Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) at the ICBMS and is in charge of the development of optical biochips and micro-arrays.

