

ARTÍCULOS ESPECIALIZADOS

# MECANISMOS QUÍMICOS DE LA TRANSFORMACIÓN DEL PAPEL

ALEJANDRA ODOR CHÁVEZ

# MECANISMOS QUÍMICOS DE LA TRANSFORMACIÓN DEL PAPEL

Debido a la acción de diversos factores intrínsecos y extrínsecos, los soportes de papel pueden sufrir ciertas transformaciones químicas que dan origen a sus efectos de deterioro.

Los principales mecanismos químicos que influirán en las transformaciones del papel son:

1. Hidrólisis
2. Oxidación
3. Fotooxidación
4. Procesos metabólicos
5. Catálisis metálica

## HIDRÓLISIS

### Hidrólisis de la celulosa

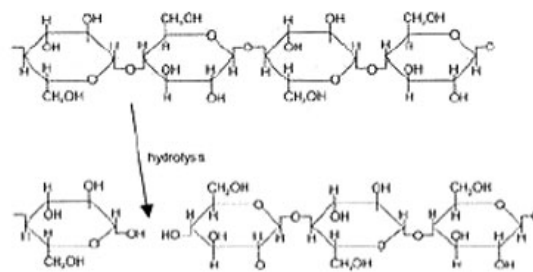
Como es sabido, el principal componente del papel es la celulosa, un polímero natural de hidrocarburos, que consta de unidades de anhidroglucosa unidas por un enlace de oxígeno para formar cadenas moleculares largas. La unión entre las unidades de glucosa se conoce como el enlace beta-acetal (B-acetal) y se da entre los carbonos 1 y 4 de éstas.

La hidrólisis de la celulosa consiste en la ruptura de dichos enlaces, ocasionando que disminuya la resistencia del polímero y por lo tanto del papel. Hay tres tipos de hidrólisis: ácida, alcalina y enzimática (procesos metabólicos).

### Hidrólisis ácida

Es la más común, pues la presencia de ácidos en el papel ataca las zonas amorfas de la celulosa<sup>1</sup> ya que contienen agua intermolecular que ayuda a la difusión del ácido. Por lo tanto, la alta acidez favorecerá la ruptura del enlace B-acetal (1-4) entre las moléculas de glucosa que conforman la celulosa, llevando a la pérdida de resistencia mecánica del papel.

El mecanismo es el siguiente:



- Ataque protónico (H<sup>+</sup>) del enlace B-acetal (1-4) de la celulosa
- Ruptura del enlace y formación del catión carbonio
- Reacción del radical carbonio con agua
- Producción de grupos terminales hidroxilo o carboxilo
- Liberación de otro radical H<sup>+</sup> que continúa la reacción (por lo que es cíclica).

La acidez que ocasiona este tipo de hidrólisis puede provenir de distintos orígenes. Las principales fuentes de acidez en el papel son:

<sup>1</sup> La orientación de molécula de celulosa varía, generando zonas cristalinas, con cadenas paralelas y fuertemente unidas entre sí y zonas amorfas, con cadenas desorientadas y con una fuerza intermolecular considerablemente menor.

- a) ENCOLANTES DE ALUMBRE-COLOFONIA. El alumbre en presencia de agua se disocia y genera  $H_3O^+$ , que es muy inestable y es un ión ácido que puede liberar el protón que inicia el mecanismo de la hidrólisis ácida.
- b) RESIDUOS DE BLANQUEO CON CLORO. Los residuos de cloro pueden generar ácido clorhídrico (HCL), un ácido fuerte, que al disociarse en  $H^+$   $Cl^-$ , se genera un protón que puede romper el enlace B-acetal de la celulosa.
- c) RESIDUOS DE ACIDEZ PROVENIENTES DEL PROCESO AL SULFITO. Los residuos de ácidos no eliminados en este proceso de eliminación de lignina también pueden causar hidrólisis ácida.
- d) ACIDEZ DE TINTAS. Algunas tintas como las ferrogálicas o pigmentos de acetato de cobre también pueden ser fuentes de acidez. Las tintas ferrogálicas están elaboradas a partir de ácido gálico o tánico y durante su producción, al reaccionar con el sulfato ferroso producen ácido sulfúrico, que ataca directamente la unión acetal. Los acetatos de cobre tienden a formar ácido acético que también afecta a la celulosa. Además estos metales (Fe y Cu) tienden a catalizar las reacciones de hidrólisis en presencia de peróxidos de celulosa.
- e) CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS. Los principales contaminantes que representan un riesgo son el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. El primero forma ácido nítrico en presencia de agua. Éste no ataca directamente la unión B-acetal, pero oxida al grupo hidroxilo del carbono 6 de las unidades de glucosa, en un ácido carboxílico. Lo anterior incrementa la acidez generando eventualmente la ruptura del enlace B-acetal. El dióxido de azufre en presencia de agua formará ácido sulfúrico, que sí ataca directamente la unión B-acetal y que además en presencia de iones libres de hierro forma reacciones cíclicas que vuelven a generar ácido sulfúrico.

### Hidrólisis alcalina

Igual que la ácida, provoca disminución en el grado de polimerización de la celulosa. Ocurre a altas temperaturas y con bases fuertes o si la celulosa presenta grupos oxidados.

Por lo que hay que tener cuidado durante las desacidificaciones, pues si el papel se encuentra muy oxidado, se podría presentar este tipo de hidrólisis.

## OXIDACIÓN Y FOTOXIDACIÓN

La oxidación, generada por la reacción con el oxígeno ambiental, provoca en los distintos componentes del papel reacciones que generan grupos cromóforos (con dobles enlaces), que aportan coloración al papel (amarillamiento). En la oxidación influyen en gran medida los agentes inductivos: humedad, temperatura, luz, contaminantes atmosféricos, oxígeno y cationes metálicos.

Ante la oxidación, la celulosa puede perder la capacidad de generar puentes de hidrógeno, lo cual provoca la pérdida de algunas propiedades físicas del papel y que se vuelva más frágil. En los soportes de papel se oxidarán primero los contenidos de lignina (si los tiene), después la hemicelulosa y finalmente la celulosa.

En la fotoxidación no sólo influye el oxígeno, sino que interviene también la luz y ésta puede romper la unión B-acetal directamente, lo cual disminuye la resistencia del papel. La oxidación de la celulosa también se puede dar por la fotoxidación de otros componentes del papel, como grasas, ceras, resinas, gelatinas, colas o resina colofonia.

Es así que el amarillamiento del papel se inicia por oxidación o fotoxidación, en presencia de oxígeno, luz y otros agentes inductores: se generan grupos cromóforos capaces de absorber luz, que producirá nuevos grupos funcionales.

## PROCESOS METABÓLICOS

Debido a los procesos metabólicos de ciertos microorganismos, se puede dar la hidrólisis enzimática. Ante condiciones altas de humedad relativa es común encontrar ataque de hongos, que son capaces de producir enzimas para descomponer la celulosa con fines nutricionales. Al existir dicha descomposición, el papel pierde resistencia mecánica. Además, los hongos pueden producir manchas de distintos colores (dependiendo de la especie, entre otras cosas) durante este proceso.

## CATÁLISIS METÁLICA

Ésta será causada por metales que pueden provenir de la misma composición del papel, del polvo y de tintas como la ferrogálica, entre otros. Los más comunes son el hierro y el cobre, pues son muy móviles en presencia de humedad.

El cobre no ataca el enlace B-acetal directamente, sino que abre las moléculas de glucosa y cataliza su oxidación. Por otro lado, los iones de hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) sí pueden romper la unión B-acetal formando grupos hidroxilo o carbonilo; pueden catalizar la oxidación de la celulosa y en ocasiones pueden favorecer la formación de ácido sulfúrico.

## BIBLIOGRAFÍA

- Carter, Henry, *Chemistry in the Comics: Part 2. The Yellowing of Paper and Conservation Bleaching*, en *Journal of Chemical Education*, vol. 73, núm. 11, Noviembre 1996, pp. 1068 – 1073.
- Carter, Henry, *Chemistry in the Comics: Part 3. The Acidity of Paper*, en *Journal of Chemical Education*, vol. 66, núm. 11, Noviembre 1989, pp. 883 – 886.
- Eldred, Nelson, *Chemistry for the graphic arts*, Graphic Arts Technical Foundation, Londres, 1992, 224 pp.
- Erhardt, David y Charles S. Tumosa, *Chemical degradation of cellulose in paper over 500 years*, en *Restaurator, International Journal for the preservation of library and Archival Material*, Alemania, vol. 26, núm.3, 2005, pp.151?215.
- Hawley, *Diccionario de química y de productos químicos, revisado por: Irving Sax, et.al.*, Ediciones Omega, Barcelona, 1993, 1170 pp.