

Biodeterioro de soporte papel y las limitaciones para su radiotratamiento

Los productos orgánicos pueden ser abordados por las más variadas especies de organismos y microorganismos.

En el caso de los vegetales esta situación se evidencia tanto en las plantas vivas como en las apearadas y sus derivados, entre los que encontramos como producto final al papel. El mismo está constituido por celulosa (principal componente de la pared celular vegetal y uno de los polímeros naturales más abundantes), la que junto con otros polímeros se entrecruzan y componen un atractivo sustrato para el desarrollo de hongos, bacterias e insectos tales como avispas, carcomas, termitas, piojos de los libros, lepismas, termobias: algunas de estas especies dispersan a los microorganismos cuando se desplazan.

Según información disponible, los egipcios fueron uno de los primeros pueblos que utilizaron el papiro (materia prima obtenida de la planta *Cyperus papyrus*) para estampar los documentos gráficos y perpetuarlos. Hasta finales del siglo XVIII el papel se elaboraba además a partir de fibras de algodón, lino y guampi.

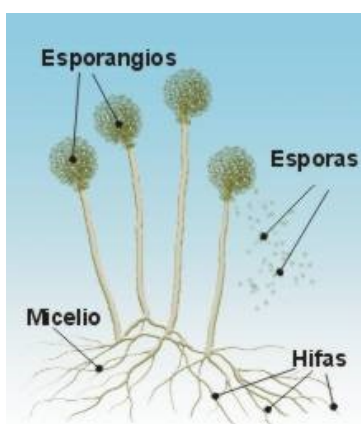
Desde principios del siglo XIX la industrialización en gran escala del papel introdujo el problema de la acidez por los aditivos con bajo pH y el inconveniente generado por las fibras cortas de la madera que otorgan fragilidad al papel. Además, al no eliminarse la lignina, se genera el color amarillento que presentan los documentos de esa época (previa al encolado alcalino y a la eliminación de la lignina).

Los microorganismos colonizarán este medio cuando en una sala poco ventilada y con luz escasa durante varios días se presente temperatura superior a 25° C, humedad ambiente superior al 60% (aunque se hayan verificado colonizaciones por hongos en papeles con valores de 10 al 14%) y con acumulación de polvo y/u hollín en las superficies. Esta situación no solo perjudica a las colecciones sino a las personas que consumen esteroides, son alérgicas, padecen diabetes, afecciones respiratorias, oculares o dérmicas.

En el caso de los hongos, microorganismos vegetales que se reproducen por medio de esporas, encontramos al phylum *Ascomycota* que constituye el taxón fúngico con más de 64 mil especies, la mayoría descomponedores de materiales celulósicos al dejar implantadas sus esporas en el material. Poseen formas y tamaños variados y pueden ser uni o pluricelulares.

Los hongos permanecen en estado latente cuando las condiciones para su vida son desfavorables y se activan cuando la temperatura, la humedad y otras condiciones son propicias para accionar su desarrollo.

Presentan un **micelio** (masa de filamentos muy delgados llamados **hifas** que constituye el cuerpo vegetativo del hongo). que penetra el papel, debilitando y degradando irreversiblemente las fibras de celulosa al segregar la enzima **celulasa**, obteniendo así la glucosa que le proporciona la energía necesaria para el desarrollo de su vida.



También pueden proliferar en los adhesivos de los libros, cueros, gelatinas, almidones, gomas y algunas tintas, para luego filtrarse entre las fibras produciendo manchas circulares de tonalidad amarilla a marrón oscuro, resultantes de los procesos de transformación de los materiales que le sirven de alimento, señales que se van extendiendo y propagando por el resto de los archivos aledaños. El carácter de estas máculas depende del tipo de papel y de las condiciones ambientales citadas.

Entre los 180 géneros de hongos que atacan al papel, predominan *Aspergillus* y *Penicillium*.

El deterioro que producen los hongos se debe a la destrucción de los puentes de oxígeno que unen las moléculas que forman las cadenas, lo que significa su debilitamiento, fractura y acortamiento y hasta su destrucción.

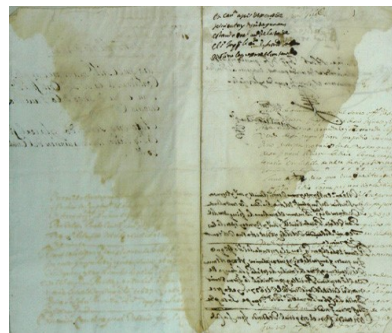
Cuando estas colonias de hongos están inactivas, al pasar un cepillo suave de pelo de camello sobre ellas, se dispersa un polvo seco; si es blando y húmedo, los hongos están vivos.



Papeles de diferentes tipos atacados por hongos

Las bacterias celulolíticas son atraídas por ese polímero. Luego de instaladas, producen ácidos que degradan al papel y dañan a las tintas dejando al soporte quebradizo y sin consistencia. En los archivos se puede encontrar al menos a *Cytophaga* spp (generalmente *C. hutchinsonii*) que produce manchas amarillentas y brillantes, transformando al papel en un sustrato transparente.

Las especies correspondientes a los géneros *Cellvibrio* generan manchas amarillas y naranja que se propagan muy rápido, mientras que *Cellfacicula* spp forman manchas rojas, pardas o verdes. En todos los casos las bacterias acidifican el papel provocándole fragilidad, situación que propicia el desarrollo de colonias fúngicas.

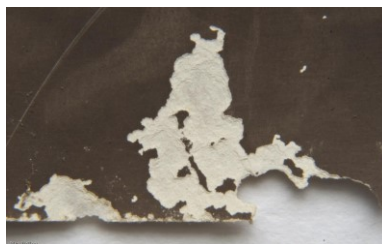


Manchas brillantes bajo las cuales el papel se muestra transparente

La presencia de estos microorganismos en los libros intensifica la atracción de diversos órdenes de insectos como *Zygentoma* (= *Thysanura*) y *Psocoptera* (= *Corrodentia*), lepismas y piojos de los libros, respectivamente.



Lepisma



Daño en papel por lepisma



Piojo del libro y daño en papel

Especies de la familia *Anobiidae* (Orden *Coleoptera*) también son atraídas por los hongos y luego se alimentan de la celulosa generando surcos en el papel lo que hace perder legibilidad al texto y fortaleza al soporte. Estas carcomas también atacan las publicaciones con tapas de madera.

En el caso de los insectos y otros artrópodos (unas 60 especies), la situación se complica debido a su reducido tamaño y a la gran plasticidad que los caracteriza.



Libros dañados por anóbidos



Libro atacado hongos y anóbidos

Hemos verificado en repetidas oportunidades la presencia de manchas en papeles, telas e hilados, las que inicialmente se podían atribuir a la presencia (en algún momento) de microorganismos. Pero estudios detallados permitieron comprobar que tales daños no habían sido generados por hongos o bacterias, sino correspondían a deyecciones líquidas o semilíquidas de insectos, situación que se corroboró al encontrar sus cadáveres o partes de ellos en el material analizado. También se ha comprobado que sobre este tipo de deyecciones, se han formado colonias de microorganismos. En este caso correspondería intervenir sólo cuando en tales colonias haya actividad vital y el material afectado lo permita.

Otro tipo de máculas se definen como "foxing", palabra que deriva del color marrón-rojizo del zorro, se pueden atribuir a la oxidación de la celulosa (por aditivos o encolado ácido que la degrada), a la presencia de trazas de óxido férrico, a un lavado y blanqueo insuficiente, a manchas producidas por agua y a factores ambientales desfavorables (temperatura y humedad). El foxing, si bien es antiestético y reduce el valor de la pieza, no afecta la integridad del papel.



Foxing

Debemos mencionar también el daño ocasionado por factores no bióticos de singular importancia como es el generado por la degradación de las tintas, particularmente la metálicas y dentro de este grupo las ferrosas (tintas ferrogálicas: sulfato de hierro y ácido galatónico, mas un aglutinante disuelto en agua), que al oxidarse se decoloran, generan ácidos que corroen y envejecen al papel. Si bien estas tintas se emplean desde el siglo XV, el exceso de temperatura y humedad favorece la ocurrencia de estos fenómenos aunque destaquemos que las tintas empleadas para imprimir periódicos y litografías son mucho más estables por estar disueltas en un medio con grasa mineral.

Los primeros documentos plasmados por chinos y egipcios, revelan que las tintas usadas combinaban goma arábiga, negro de humo y cola de pescado, producto mucho mas estable que las tintas modernas.

Difícilmente estos fondos documentales en buen estado o nuevos brinden condiciones atractivas para que se genere un biodeterioro, ya que tal episodio se manifiesta en papeles antiguos sobretodo si han sido afectados por incendio, polvo, hollín, filtraciones, alta temperatura y humedad relativa o falta de higiene. También el daño en las piezas por manejo inadecuado, contribuye a su biodegradación.

Medios de manejo

Si bien existen procedimientos para superar estos inconvenientes (frío, calor, anoxia), en general no se considera al objeto dañado o sea el sustrato que tiene el problema. Es imprescindible adoptar una serie de medidas antes de aplicar un procedimiento correctivo, previo a la restauración (si se implementara).

Cuando el material bibliográfico se presenta mojado o con alto contenido de humedad, debe secarse antes de las 48 horas de ocurrido el episodio que generó esa consecuencia, ya que luego puede comenzar el desarrollo de microorganismos. Pero si el agua con que se mojó está contaminada y/o el soporte se encuentra sucio, el desarrollo puede comenzar antes, sobre todo si la temperatura ambiental es alta. Pero cuando no está húmedo, antes de proceder hay que comprobar si la microfauna está viva o muerta: en este último caso, no aplicar ningún procedimiento correctivo, sólo retirar los microorganismos muertos con pincel o aspiradora.

Se debe rescatar primero la pieza de mayor valor, única, firmada por el autor, corresponder a una edición agotada o poseer alguna característica particular.

Las impresiones en papel ilustración deben secarse en forma inmediata colocando papel de servilleta entre cada una de las paginas. Cuando ese paño se humedezca habrá que reemplazarlo. El papel ilustración tiene una terminación que hace que se adhieran las hojas y no se puedan separar si no se secan de inmediato.

Los planos, mapas y hojas sueltas humedecidas se pueden colgar en hilos de plástico grueso y sujetar suavemente mediante broches plásticos. Proceder con sumo cuidado. Si se cuelgan fotos nunca deben colocarse los broches sobre la imagen.

Los planos, fotos, libros que estén húmedos, pueden colocarse sobre cartón corrugado en el piso, con la parte lisa hacia arriba y sobre estos papel secante blanco. En caso que el libro esté parado, debe abrirse para que se sequen las hojas; si el libro está acostado, colocar servilletas entre sus hojas. Las fotos deben colocarse una por una.

El material documental siniestrado no debe secarse al sol porque la radiación ultravioleta daña al papel (se fragiliza y colorea).

Para realizar la tarea se deben usar guantes descartables y si el material o el lugar donde se encuentra, esta contaminado, los operarios deben valerse de barbijo y antiparras o lentes.

Los microorganismos patógenos de los soportes pueden producir enfermedades oculares, cutáneas, respiratorias, etc. en personas sensibles.

Se percibe un olor característico cuando hay hongos en el depósito y/o el material rescatado. Además en los libros aparecen manchas de colores.

Cuando los libros o documentos se secan y se encuentra material atacado por microorganismos, debe separarse y colocarse en bolsas plásticas en un lugar fresco y seco, hasta su tratamiento (ideal: un freezer). Si se guarda el material con carga microbiana junto al que no lo está, este último se contaminará. Cuando se pasa un pincel suave sobre una colonia de microorganismos y se percibe un arrastre grasoso sobre la pieza, indica que ese material biológico esta vivo; cuando se realiza la misma operación y se levanta polvillo, esta muerto.

Recordar que el material rescatado no se puede guardar inmediatamente junto a otros libros o documentos: primero se debe limpiar y simultáneamente higienizar el lugar donde se lo colocará.

Durante todo el trabajo de secado, interfoliado con servilletas, colgado o colocado sobre papeles en el piso o en mesas, el material debe estar muy ventilado mediante aire natural filtrado. Esto hace que las esporas, que naturalmente se encuentran en la atmósfera, no se fijen.

El depósito donde el material está en proceso de secado, tendrá que disponer de un deshumidificador o recipientes con cal, silicagel o cloruro de calcio anhidro para que se hayan secado antes de su traslado al horno.

El depósito o biblioteca donde se guarden los documentos secos y limpios, deberá estar saneado y mantener la temperatura entre 20° y 22° C con humedad relativa del 50%.

Este material ya sensibilizado por el accidente, deberá estar protegido especialmente ya que no podrá resistir otra catástrofe.

La aplicación de radiación ionizante, es un sistema eficaz para la lucha contra los agentes perniciosos, en particular insectos y otros artrópodos, aunque cada caso debe ser evaluado según sus particularidades ya que es un proceso que tiene ventajas e inconvenientes, como las otras alternativas conocidas.

Este procedimiento se basa en la interacción de los rayos gamma con la materia dañada que los absorbe. Estas consecuencias son directamente proporcionales a la dosis de radiación aplicada, es decir a la energía absorbida por la materia, por lo tanto el daño es creciente a medida que aumenta la dosis.

Efectos biológicos de las radiaciones

Las consecuencias de las aplicaciones sobre los sistemas biológicos, que están formados por moléculas complejas, se relaciona con la energía de la fuente radiante. Las radiaciones de baja energía, como las ondas de radio, no pueden alterar ningún enlace molecular y los efectos sobre los seres vivos son poco significativos.

Los efectos que describiremos son consecuencia de aplicación de radiaciones ultravioleta (UV), rayos X y rayos γ (radiaciones ionizantes), todas por encima del espectro visible y con la energía suficiente para modificar moléculas que se encuentran en las células (por ejemplo ADN) y en consecuencia alterar su fisiología.

Cuando la dosis de radiación absorbida es alta, el daño que pueden generar es tan grande que impide a la célula desarrollar sus funciones y la conduce a su muerte; un ejemplo conocido es el empleo de la luz UV con fines bactericidas. En cambio cuando la dosis de radiación es baja, la célula presentará alteraciones posirradiación, pero como su magnitud es baja puede sobrevivir. Sin embargo las mutaciones son heredadas por las células hijas.

Cuando se trata de un individuo multicelular, la exposición generalizada a una alta dosis de radiación ionizante puede provocar lesiones severas en las células y ocasionar la muerte de ese organismo. En cambio al aplicar bajas dosis, ese espécimen reparará posirradiación las zonas lesionadas, aunque tal restauración no será total: por ejemplo al modificarse una proteína, esta no puede cumplir con sus funciones normales por lo tanto esas acciones no se desarrollan correctamente.

En síntesis, toda célula expuesta a radiaciones se perturba y desorganiza, alterándose su calidad biológica. Por otra parte, las lesiones se desarrollan por medio de mecanismos tan complejos que es difícil establecer su naturaleza porque, además, estas aplicaciones no son selectivas. Si bien todos los cambios se producen en fracciones de segundo, el organismo tratado no los evidencia de inmediato. Un dato de esta complejidad nos lo indica las más de 2.000 reacciones/ μ^3 que ocurren durante la irradiación de un sustrato biológico tratado con radiación γ .

La dosis de radiación se expresa en Gray (Gy) y cada unidad (1 Gy) equivale a 1 Joule absorbido por kilogramo de masa.

a) En microorganismos

La absorción de bajas dosis de radiación (dosis subletales) dificulta el desarrollo normal de sus funciones vitales, situación que se complejiza según aumenta la dosis y culmina con la muerte de estos agentes perniciosos (dosis letal).

Estos perjuicios se generan por la interacción de la radiación con la organización de la membrana celular, afectándose las actividades metabólicas y enzimáticas. También dañan las moléculas de ácido desoxirribonucleico (DNA) y ácido ribonucleico (ARN), estructuras críticas que se encuentran en el núcleo y que contienen las instrucciones genéticas usadas en el desarrollo y funcionamiento de todos los organismos vivos y es responsable de su transmisión hereditaria, lo que impide la multiplicación de las células y, por lo tanto, precipita la muerte de los microorganismos.

b) En insectos y otros artrópodos

A dosis bajas de radiación (subletales) los efectos directos suelen ser reversibles, porque estas lesiones son de poca magnitud ya que pueden producir daño no permanente: el efecto es fisiológico y se verifica en la pérdida de calidad de vida del organismo irradiado, una de las primeras manifestaciones de la exposición a la radiación de cualquier ser vivo.

A dosis mayores (dosis letales) aparecen daños bioquímicos con lesiones genéticas, los que se producen más rápidamente cuando los organismos tienen alta actividad metabólica; son daños definitivos y mortales.

Tanto las lesiones fisiológicas como las genéticas están relacionadas con las condiciones preirradiación, las imperantes durante el proceso y las que se registran luego de finalizada la aplicación (principalmente temperatura, humedad y concentración de oxígeno).

Efectos de las radiaciones en los sustratos

Los soportes bibliográficos están constituidos por una amplia gama de productos orgánicos (papel, tela, cuero, pegamento, adhesivos, hilos, etc.), con el carbono como componente común. Muchos de estos son materiales poliméricos que envejecen naturalmente y se deterioran hasta llegar a la ruptura de las cadenas moleculares que los constituyen (despolimerización).

Cuando se verifica que en ese material se presentan organismos y/o microorganismos dañinos, se puede aplicar radiaciones ionizantes para superar el problema, pero esa energía no sólo será absorbida por los agentes perniciosos sino por el sustrato colonizado, el cuál no sólo presenta el daño generado por estos agentes, sino el que previamente propició su llegada y asentamiento. Es decir, el material presenta 2 tipos de daños: abiótico y biótico.

Condiciones para el tratamiento

En primer término, se puede aplicar radiaciones ionizantes a las piezas para combatir artrópodos o microorganismos que dañan material bibliográfico, siempre que se haya verificado ciertamente que el soporte presenta agentes biológicos vivos.

También debe estudiarse el estado de ese sustrato fragilizado, ya que las radiaciones lo dañarán aún más. Simultáneamente determinar cuáles fueron las condiciones en el lugar donde se encontraban esas piezas que favorecieron la llegada y colonización de las mismas, ya que como este procedimiento consiste en administración de energía ionizante (no tiene acción residual como los medios químicos), al disponerlo en las mismas condiciones (preirradiación), habrá repetición de daños en un producto que no sólo fue menoscabado inicialmente sino que luego ha sufrido las consecuencias de las aplicaciones de radiación. O sea que es una condición imprescindible superar los problemas que generaron el daño del soporte antes de depositarlo en ese sitio luego del tratamiento.

Cuando un recurso bibliográfico fue colonizado por hongos o bacterias, para la combatir a estos microorganismos hay que aplicar una dosis de radiación superior a 3 kGy, ya que las formas biológicas más primitivas presentan mayor radiorresistencia. Pero como ese material biológico coloniza un sustrato que ofrece condiciones para esta acción, es decir debilitado por factores abióticos (por ejemplo humedad), al recibir una alta dosis de radiación sufrirá mayores daños como la ruptura de cadenas de celulosa y otros polímeros por esta aplicación, lo que indica que la implementación de este procedimiento debiera ser discutida.

En el caso que el material haya sido dañado por artrópodos y que estos se encuentren en el ese sustrato, se aplica una dosis baja de radiación ionizante (> 2 kGy) es decir poco tiempo de tratamiento. Aquí el material dañado podrá sufrir daños poco significativos, no mayores que el generado por cualquier otro método.

Hay una situación que complica aún más este proceso: ciertos insectos (Orden *Coleoptera* y otros) llegan a un soporte de celulosa atraídos por microorganismos presentes en ese sustrato humedecido. Estos artrópodos luego colonizarán el papel. En este caso hay que aplicar una dosis alta de radiación (> 3 kGy) ya que encontramos 2 grandes grupos de agentes biológicos, siendo uno de ellos (los microorganismos) los más radiorresistentes.

Por fin, habrá que estudiar con alto grado de detalle cada caso (grado de daño, tipo y antigüedad de la pieza, condiciones de destino, etc.) para poder definir prudentemente las variadas situaciones y proceder en consecuencia.



Modelos de plantas de irradiación

Algunas ventajas

- Durante la irradiación no se eleva significativamente la temperatura del material en tratamiento.
- No se registra acción residual.
- Las piezas pueden ser manipuladas con seguridad postratamiento
- El costo económico del proceso es muy competitivo
- No se humedece el sustrato durante el proceso.

Algunas desventajas

- Las piezas deben ser tratadas en una planta de irradiación.
- En Argentina sólo hay 2 plantas de irradiación y ambas situadas en la provincia de Buenos Aires.
- No siempre el sustrato dañado por microorganismos soporta la dosis de radiación necesaria para contrarrestar la acción perjudicial de estos.
- La decisión sobre aplicar o no radiaciones para superar el problema de daño por microorganismos vivos en soportes bibliográficos, debe necesariamente recaer en personas idóneas.

----- Para más información, comunicarse con el autor a: map.vectores@gmail.com