

Manejo del biodeterioro en recursos culturales por aplicación de radiaciones ionizantes

Resumen

En la Comisión Nacional de Energía Atómica hemos adaptado y desarrollado una herramienta que consiste en someter a bajas dosis de radiación ionizante, piezas o sus partes dañadas por insectos y otros artrópodos, aplicación que mediante estudios convencionales no permitió determinar consecuencias indeseables hasta el mediano plazo en el sustrato hospedero y, además, la inmediata culminación de su estropeo por el efecto que este tratamiento genera en esa fauna artropódica.

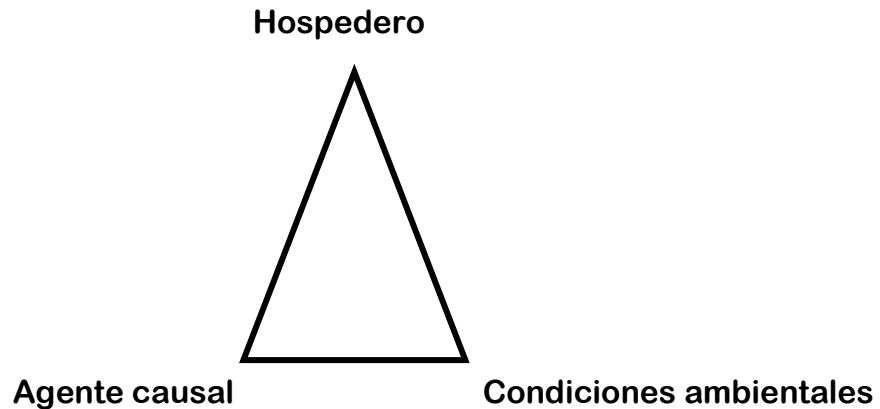
En 1994 nos plantemos la posibilidad de iniciar este proyecto fraccionado en 2 partes: a) en algunos laboratorios de la CNEA, de la Universidad de Morón, del INTI y en el Instituto Pratt de Nueva York se realizarían los estudios sobre los efectos que estas dosis pudieran generar en los sustratos susceptibles; b) en nuestro Laboratorio se evaluarían las consecuencias de estas aplicaciones en especies infestantes.

Luego de 6 años quedó demostrado que en el caso del material biológico perjudicial estudiado, la aplicación de dosis subletales (5 a 7 kGy) hasta potencialmente letales (10 a 12 kGy) de radiación gamma emitida por el ^{60}Co a una tasa del orden de 250 Gy/min, genera disfunciones al menos en los sistemas digestivo, nervioso, genital y muscular (y por lo tanto en su comportamiento) de modo irreversible, en los individuos inmaduros o adultos de ambos sexos que se encuentren sobre o dentro de material hospedero deteriorando su calidad de vida y precipitando la muerte, sin causar variaciones de temperatura del objeto irradiado, sin humedecerlo, sin influir en el proceso de envejecimiento natural, sin variar la tonalidad de los colores, sin afectar el sonido de los instrumentos musicales, sin modificar la textura, sin acción residual, sin riesgos toxicológicos ni tecnológicos respetando el acervo y a un costo económico competitivo en comparación con los medios convencionales y otros de punta.

Luego de la fase de difusión, desde hace unos 8 años nuestro Laboratorio responde a las inquietudes que plantean los interesados, estudiando el problema; luego para los casos plausibles, se practica la radiodesinfestación de estos recursos culturales como un servicio en la Planta de Irradiación del CAE, habiéndose posicionado a Argentina como el tercer país en aplicarlo. Es decir únicamente desde el Sector Público, la CNEA, se ofrece una asistencia integral al solicitante.

1) Introducción

Las materias primas de origen orgánico o sus productos, pueden ser abordados por algunas especies de seres animados debido a que los necesitan para concretar sus funciones vitales, cometido que sólo se podrá concretar en los casos que la situación del ambiente sea adecuada y que el hospedero presente condiciones de biovulnerabilidad. Es decir, en este escenario son 3 los actores que intervienen constituyendo el Triangulo de Variables Imprescindibles (TVI):



Si bien se han dispuesto varios procedimientos para luchar contra los artrópodos (radiación infrarroja y ultravioleta, plaguicidas químicos, anoxia e hipoxia, frío, calor, ultrasonido, nanoinsecticidas, tierra de diatomeas y otros), todos los métodos presentan inconvenientes tecnológicos, ambientales o económicos.

En este trabajo trataremos el caso de la aplicación de radiaciones ionizantes para el manejo de la fauna artropódica que infesta recursos culturales.

2) Propósito

Este proyecto se diseñó para que, luego de cumplir con éxito todos los pasos del trabajo de investigación y de establecer su viabilidad tecnológica y económica, se pueda formalizar un procedimiento orientado a manejar el biodeterioro de obras de valor cultural sin producir alteraciones significativas en las piezas, respetando el ambiente sin producir efectos indeseables en la salud del personal involucrado y el público.

3) Materiales

3.1) Planta de Irradiación Semi Industrial del CAE

Todos los experimentos y los servicios de irradiación de estos productos, se realizaron en esta instalación. Debido a que la PISI ha sido descrita en reiteradas oportunidades, sólo recordaremos que cuenta con una fuente de ^{60}Co y que en ella se procesan diferentes productos comerciales y se realizan trabajos de investigación y desarrollo para diferentes sectores de esta Gerencia y otras.

3.2) Fauna artropódica que visita objetos de valor cultural

Estas piezas pueden ser abordadas por una amplia diversidad de grupos animales, en particular especímenes del phylum *Artropoda* (invertebrados con su cuerpo articulado) y dentro de este mayoritariamente quienes se encuentran en la Clase *Insecta* (3 pares de patas).

Orugas de gorgojos y escarabajos pertenecientes a las familias *Curculionidae*, *Cerambycidae*, *Anobiidae*, *Dermestidae* y otras, cavan galerías en el interior del cuero, madera, cartón y otros productos orgánicos, llegando a afectar de modo directo las

propiedades físico-químicas del material y luego daños indirectos por la generación de polvillo, sustrato en el que se desarrollan plagas insectiles secundarias y ácaros.



Antrhenus spp. en alfombra

Las polillas *Tinea* spp, *Tineola* spp, *Anagasta* spp y otras depositan sus huevos sobre los tapices, atuendo, alfombras, cortinados, etc. Luego de la eclosión las larvas se alimentan de esas fibras con el fin de incorporar queratina α y β , colágeno, elastina y fibrina (proteínas animales fibrosas o escleroproteínas) que necesitan para la prosecución de su ciclo biológico.



Ephestia spp adulto

Los insectos en estado ninfal y adulto del orden *Orthoptera* (grillos) se alimentan de hilados vegetales de diferente textura y coloración, mientras que las cucarachas (*Blatella germanica*, *Blatta orientalis* y otras) son omnívoros.



Gryllus domesticus

En cambio los “piojos de los libros” *Liposcelis divinatorius* y *Trogium pulsatorium* (orden *Psocoptera* [= *Corrodentia*]), el “pez de plata” *Lepisma saccharina* y “rapaz de fuego” *Thermobia domestica* (ambos orden *Thysanura*), ocasionan severos daños en los libros, papiros, cartones, pegamento, etc.



Thermobia domestica



Lepisma saccharina

Otros insectos dañinos que pueden afectar el acervo cultural son los correspondientes a los ordenes *Hymenoptera* (avispa), *Isoptera* (hormigas carpinteras, termitas) y *Diptera* (moscas). Estas formas se definen como “plagas migratorias”, es decir si bien necesitan ese medio para sostener su vida generándole daños desde leves hasta severos y de diferente tipo (por humedad, manchas, etc.), no desarrollan su vida dentro de él.



Avispa Polistes fuscatus

Una atención particular merecen las pulgas (insecto que pertenece al orden *Siphonaptera*) y los ácaros (clase *Arachnida*: orden *Acarina*) que si bien viven en algunas de estas piezas, se alimentan de restos que en ellas encuentran y generan molestias a las personas por picaduras y alergias que pueden producir.

Las arañas (orden *Araneida*) si bien generan rechazo por su misma presencia y por la formación telas, no afectan directamente a estos productos y además por su condición de individuos carnívoros, se constituyen como enemigos naturales de especies dañinas. No obstante tanto el personal que trabaja en los museos, bibliotecas, etc. como las visitas, deberán estar atentos a su presencia y evitar contacto con ellos.

3.3) Materiales infestados

Las diferentes especies de madera (pino, sauce, ébano), los hilos y fibras de origen vegetal entre las que encontramos al algodón o al lino y animal como lana, seda u otros, los cueros, etc. con los cuales se han elaborado diferentes artículos de mueblería, libros, tapices y alfombras, cuadros, estatuas, etc. pueden ser atacados por una diversidad importante de artrópodos, toda vez que en el sitio donde se encuentren haya condiciones abióticas apropiadas para que esa fauna pueda desarrollar sus funciones vitales sin inconvenientes.

Además cada uno de estos artículos tiene que reunir básicamente condiciones de formato, color y olor para que los artrópodos se alimenten, copulen, ovipositen o se refugien.

Los productos con valor cultural particularmente, presentan condiciones atractivas para una importante cantidad de especies artropódicas debido a que durante

el tiempo transcurrido desde su elaboración se han acumulado rastros de diferentes almacenajes, de transporte, manejo, etc. variables que pueden favorecer la llegada de estos agentes perniciosos.



Libro, sillón e instrumento musical infestados

4) Medios de lucha

Desde la identificación por Aristóteles (384 a C - 322 a C) de una polilla, a la que definió en su Historia Animalium como “un extraño animáculo que perfora la ropa....”, el hombre ha empleado cuanto medio estuvo a su alcance para luchar contra estos individuos que requieren los mismos elementos y en el mismo momento que aquel para cumplir con sus funciones vitales.

Muchos de los procedimientos perfeccionados y luego aplicados, han sido fruto de la impaciencia, el desconocimiento, las presiones, las modas, la búsqueda de resultados rápidos, etc. con consecuencias indeseables en el corto o mediano plazo.

Algunos de ellos se describen someramente a continuación.

4.1) Plaguicidas de síntesis química: actualmente el grupo más importante es el de los piretroides, originado en el piretro que es un componente de las flores de crisantemo. Se han desarrollado derivados sintéticos más modernos, a partir de los isómeros más activos de este grupo.

Si bien es el procedimiento de lucha que más rápidamente produce la muerte del agente causal del daño, los biocidas sintéticos se emplean habitualmente. Pero las incorrectas e inoportunas aplicaciones causan una cantidad de inconvenientes tales como:

- Estos productos son pulverizados y si bien no deben ser aplicados sobre los objetos, por la deriva el húmedo spray puede producir manchas, corrosión y otras alteraciones químicas en las piezas.
- Su uso puede enmascarar otros problemas.
- Los plaguicidas (biocidas) deben ser aplicados para matar insectos, nunca para prevenir o repeler su presencia.
- Respecto del modo de utilización, no son muchas las personas que se han especializado para realizar estos tratamientos, por lo tanto de un modo corriente no se usa el producto indicado para cada caso, la frecuencia de las aspersiones, las condiciones ambientales de la sala, depósito o vitrina, etc.
- Estos productos actúan a nivel superficial, de modo tal que sólo afectarán a formas que se encuentren sobre el objeto, mientras que los estados inmaduros (que es cuando

provocan los mayores daños) se encuentran dentro de la pieza, sitio donde este producto no llega.

- También debe contemplarse el problema de la contaminación ambiental, la toxicidad para los operarios (se magnifica en estos lugares cerrados), la acción residual, la no selectividad (afectan a todos los seres vivos), la aparición de la resistencia y los costos económicos.

Otros procedimientos que se emplean o podrían emplearse para la lucha contra las plagas que afectan el patrimonio cultural son:

4.2) Temperatura: el frío y el calor si bien pueden dañar al material biológico dañino, generan en las piezas los fenómenos de contracción y dilatación lo que significará que luego de repetidas operaciones aparezcan roturas, desgarros, craqueladuras y resquebrajamientos en el objeto.

4.3) Ultrasonido: la presión acústica de 130 decibeles (entre 30 mil y 65 mil Hz) es efectiva para producir la repelencia o fuga de los artrópodos, pero no se lo considera un medio eficaz de lucha ya al emigrar se refugian en otros sitios y cuando el ultrasonido cesa, pueden regresar y producir daños.

4.4) Radiación ultravioleta: se usa para eliminar insectos voladores al ser atraídos por esta luz colocada dentro de una trampa con carga eléctrica. El inconveniente es que no se puede usar contra insectos rastreros y tal radiación acelera el envejecimiento de los objetos.

4.5) Nanoinsecticidas, 4.6) caolin y 4.7) diatomita: estos productos polvosos se aplican sobre los objetos infestados y actúan por contacto a nivel de exoesqueleto o por ingesta en el tracto digestivo. Si bien es un procedimiento que presenta múltiples ventajas, en este caso su aplicación puede afectar físico-químicamente el acerbo al formarse una película con este producto luego de su aplicación; además al ser retirada sin precauciones o por personal no entrenado, podría rayar u opacar las superficies.

4.8) Microondas: se incrementa de la temperatura, por lo tanto aparecen cambios bruscos en su estructura, efecto que produce daños. No se puede aplicar a todos los objetos.

4.9) Radiación infrarroja: su aplicación genera aumento de temperatura, por lo tanto se registran variaciones estructurales bruscas que producen daños en el cuerpo del objeto y se acelera el envejecimiento.

4.10) Cambio de atmósfera (anoxia): se requieren prolongados tiempos de aplicación de gas nitrógeno (hasta 23 días) y un recinto adecuado para el tratamiento de objetos de gran porte (mobiliario, estatuas). Un método que demanda excesiva energía y es muy costoso.

4.11) Aceite de neem: es un producto aceitoso que se asperja en el ambiente (no sobre la obra), por lo tanto si bien nos asegura la muerte por contacto de la fauna

contaminante en las superficies, se forma un depósito de oleoso por deriva sobre la pieza, característica que indica desaconsejar su uso en este caso.

Si bien cada procedimiento presenta utilidades y desventajas, por estas razones principalmente, es que su adopción se ve desalentada ya que se ha pensado en combatir las plagas pero se desconsideró la protección del objeto dañado y ambas cuestiones tienen que ser discutidas escrupulosamente antes de tomar decisiones.

5) Radiodesinfestación

Se designa así al método que consiste en la aplicación radiaciones ionizantes para el manejo de la fauna artrópoda que afecta a un sustrato dado.

La bibliografía, experiencias internacionales y resultados propios nos permiten disfrutar una coincidencia: el tratamiento de materiales orgánicos a la dosis de radiación ionizante necesaria para producir daños irreparables en la fauna artrópoda infestante, se presenta como un procedimiento viable técnica y económicamente ya que además esas aplicaciones no afectan al material tratado a niveles detectables por métodos convencionales, lográndose halagüeños resultados en poco tiempo, sin riesgos ni acción residual y sin producir contaminación.

6) Fundamentos básicos de las radiaciones ionizantes

Son ondas electromagnéticas del mismo tipo que la luz pero de origen nuclear, con mayor energía y gran poder de penetración. Luego de ser emitida la radiación, que en nuestro caso proviene de una fuente radioisotópica de cobalto 60 (^{60}Co) y al ser absorbidas por la materia, los rayos gamma interactúan indiscriminadamente con todos sus componentes en relación directa con la cantidad de radiación absorbida, es decir con la dosis de radiación, la cual también se relaciona con el tiempo de exposición (para mayores dosis, se requiere más tiempo de exposición y se registran secuelas más marcadas).

La tolerancia o sensibilidad a las radiaciones es propiedad de cada uno de los diferentes sustratos a ser procesados, es decir hay materias primas y productos que son más resistentes o más alterables que otros, total o parcialmente.

Es muy importante recordar que el ^{60}Co , con una vida media de algo más de 5 años, tiene baja energía (1,17 MeV) por lo tanto no hay posibilidades de transformar al producto irradiado en un objeto radiactivo, independientemente de la dosis de radiación que se aplique.

La unidad de radiación es el Gray (Gy), que equivale a 1 Joule de energía por cada kilogramo de masa tratada.

7) Resultados

7.1) Consecuencias de la aplicación de radiaciones ionizantes a artrópodos

Han sido muy estudiadas, y aún lo siguen siendo, las consecuencias que sufren estos invertebrados en cada uno de sus estados del ciclo biológico (huevos, larvas,

ninfas, pupas, adultos) a ser tratados con dosis subletales, potencialmente letales y letales de radiación ionizante.

Las conclusiones a las que arribamos, algunas coincidentes con trabajos publicados y otras originales, nos permiten asegurar que la aplicación de radiaciones ionizantes en estas condiciones ocasiona a ese material biológico efectos fatales que se manifiestan más significativamente en la fisiología de los sistemas, los cuales son crecientes según aumenta la dosis de radiación, conduciéndolos inexorablemente a la letalidad mediata o inmediata. Se determinan mayores daños por irradiación, cuando las aplicaciones se concretan en las horas o estados que las especies tienen mayor actividad metabólica o la temperatura es elevada o la humedad es alta o cuando el tratamiento se realiza en objetos contenidos en embases cerrados; aquí hay prestar particular atención a las consecuencias en el objeto a tratar.

Para el caso de aplicación de dosis de radiación a niveles subletales del orden de los 6 kGy y una tasa promedio de alrededor de 250 Gy/min., los daños que se producen en algunas especies infestantes pueden llegar a ser lo suficientemente severos como para impedir la alimentación y reproducción de adultos, deshidratación y muerte de huevos, irritabilidad exacerbada y lentos movimientos de traslación en larvas, desnaturalización de pupas y otras disfunciones orgánicas parcialmente reversibles o bien irreversibles y de magnitud creciente con el transcurrir de las horas al menos en los sistemas digestivo, nervioso, genital, hormonal y en la musculatura estriada, lo que acorta el tiempo de vida y deprecia su calidad en ambos sexos y en la totalidad de esos artrópodos en cualquiera de sus estados del ciclo biológico, conduciéndolos a la muerte prematura en menos de 100 horas post irradiación.

Una aplicación de radiaciones ionizantes a dosis superiores a 15 kGy, produce daños bioquímicos permanentes impidiéndose la restauración de los tejidos dañados del organismo y por lo tanto el mantenimiento normal de sus funciones vitales ocasionándole una muerte súbita.

Los efectos que produce la aplicación de radiaciones a dosis potencialmente letal (aprox. 10 kGy), ocasionan el deterioro y muerte del material biológico en tiempo intermedio ya que los daños son de mayor magnitud que en el primer caso.

7.2) Efectos de las radiaciones ionizantes en el material infestado

Debido a las propiedades de estabilidad y firmeza que presenta el acerbo realizado con cualquier especie de madera, las dosis de radiación necesarias para afectar a las formas xilófagas es marcadamente menor que la que produciría efectos indeseables en el producto que los hospeda. En este caso sólo hay que evaluar las consecuencias que podría sufrir su cobertura (pinturas, barnices, lustres), si la hubiere.

El caso de los soportes bibliográficos es diferente ya que como el tratamiento con radiaciones ionizantes se realizaría para que cese el daño biótico, el estado del papel merece una evaluación minuciosa como así también el resto de los componentes de esos cuerpos.

Estos objetos no sólo son afectados por algunas especies insectiles y de ácaros sino también por bacterias (*Cellvibrium* spp, *Cellfacicula* spp) y hongos (*Aspergillius* spp y *Penicillum* spp), quienes pueden dañar las fibras de celulosa (el biopolímero más abundante en la naturaleza) que constituye la estructura primaria del papel, perjuicio

que se podría incrementar por la aplicación de radiaciones, lo que puede acelerar el envejecimiento y producir lesiones físicas.

Los hilados pueden ser tratados con este medio a dosis subletales y potencialmente letales para luchar contra estados inmaduros de grillos y polillas, sin que se puedan registrar alteraciones en su estructura. Habrá que estudiar el efecto no deseado que pudiera producirse en las tinturas, principalmente cuando son de naturaleza orgánica.

Con la presentación resumida de este grupo de casos, se pretende indicar que debe examinarse cada situación en particular (tipo y diversidad de materiales que componen el objeto y su estado, condiciones ambientales donde se encuentra, manejo, destino y otras variables) ya que no existe 1 fórmula que permita la estandarización.

El procesamiento por radiaciones ionizantes no humedece el producto y la temperatura durante la aplicación no se incrementa por encima de los 3^o C. En este caso particular (dosis y tasa), además no se acelera el envejecimiento ni se alteran los colores (según la información obtenida después de aplicación de radiación ultravioleta y luz incandescente por ciertos períodos de tiempo y a diferentes distancias), ni perjudica la textura (determinado con texturometría) y no se afecta el sonido según expresiones de 4 músicos que ejecutaron instrumentos musicales de cuerda, percusión y viento irradiados a 10 kGy.

8) Actividades relevantes del Laboratorio (1994-2013)

Los objetos o sus partes que hemos estudiado y tratado fueron: instrumentos musicales de la Orquesta Estable del Teatro Colón y de músicos particulares (gaita, 2 quenás, chelo, contrabajo, guitarra de Indonesia; piezas de museos del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, de la Universidad de Buenos Aires, de la Universidad Nacional de Catamarca, Juan Manuel de Rosas, del Metropolitan Museum of Art de Nueva York, de la Legislatura de la Ciudad de Buenos Aires; material bibliográfico y anaqueles de la Villa Ocampo y del Instituto Geográfico Nacional; imágenes religiosas (entre las que se destaca un Cristo tamaño natural de la iglesia de la ciudad Alejo Ledesma, Córdoba), animales embalsamados y momificados, mobiliario, tapices, herbarios y colecciones entomológicas, indumentaria, calzado, cuadros, artículos de mimbres, juguetes.

Además, se asesoró sobre la remodelación del Teatro Colón, se hizo monitoreo ambiental y biológico en el Cabildo de la CABA y se elaboró una idea de Proyecto ARCAL en la que participaron 6 países para la consideración del patrimonio cultural edilicio latinoamericano.

9) Conclusiones

Existe una modalidad de trabajo que consiste en la aplicación de dosis letales o superiores con el fin de producir la muerte inmediata de la fauna infestante de productos variados. Nosotros no coincidimos con tal posición ya que si bien no se discrepa con esos efectos sobre el material pernicioso, lo cierto es también que el tipo de objeto y sus variados componentes sufren daños de desigual intensidad principalmente al ser movidos luego de la aplicación de dosis mayores de radiación (> 15 kGy), el envejecimiento prematuro y cambios en la coloración entre otros

infortunios. En particular, planificar la radiodesinfestación de recursos culturales requiere una especial atención en este punto.

La aplicación de radiaciones ionizantes desde dosis subletales hasta potencialmente letales (6 a 12 kGy, según el sustrato) para el manejo de la fauna artrópoda que infesta estos objetos, se presenta como un procedimiento destacado a la hora de planificar una estrategia de manejo integrado en las vitrinas, salas y depósitos de museos, bibliotecas y cuanto otro ámbito sea elegido para la exhibición, almacenamiento, estudio, etc. del acervo cultural.

En los casos que se aconseje su empleo, estas dosis de radiación no dañarán el material infestado en una magnitud superior a cualquier otro medio convencional.

Con estas aplicaciones se producen disfunciones en los artrópodos perniciosos, desordenes que generan un efecto “derrumbamiento” con pérdida de calidad de vida y precipitación de su letalidad.

Recordemos siempre que una herramienta de lucha contra la fauna artrópoda infestante debe ser empleada para acabar con el daño que la misma genera en los objetos y nunca preventivamente, ya que para este cometido deben aplicarse los fundamentos de la conservación preventiva (o sea trabajar sobre la intervención antrópica para evitar la biodegradación), acción que entre otros objetivos se plantea el cambio de condiciones ambientales (iluminación, temperatura, humedad, modalidad de limpieza y otras variables abióticas), que propician la llegada de insectos y otros artrópodos al sitio donde se encuentra el recurso, la colonización y por fin su infestación.

10) Agradecimientos

Al personal de la Planta de Irradiación Semi Industrial del Centro Atómico Ezeiza (PISI), al Laboratorio Dosimetría de Altas Dosis (GATR) y a todos los que apoyaron esta línea de trabajo.

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