

Artículo de investigación

Evaluación del riesgo ambiental y propuesta de manejo de lámparas fluorescentes en desuso

María Noelia Silvero Sotelo^{1*} y Fátima Villasanti Sánchez²

^{1,2} Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Nacional de Itapúa, Encarnación - Paraguay.

*Autor correspondiente: María Noelia Silvero Sotelo; noeliasilvero@cyt.uni.edu.py

Recibido: 31/08/2020 **Aceptado:** 09/08/2021

Resumen

Las lámparas fluorescentes presentan entre sus componentes el mercurio; su gestión inadecuada puede desencadenar severos impactos ambientales en el aire, agua y suelo, como problemas de salud en las personas que entran en contacto con este metal. Por esta razón, en este estudio se procedió a cuantificar las lámparas fluorescentes desechadas en el campus de la Universidad Nacional de Itapúa, así como a determinar el diagnóstico situacional y riesgo ambiental asociado al mal manejo de los mismos, aplicando una Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales, de manera a plantear estrategias para su gestión adecuada. Se identificaron un total de 4028 unidades de lámparas fluorescentes, el 80% de las cuales se encuentra en buen funcionamiento, y el 20% restante están dañadas. Según el escenario planteado, el riesgo ambiental fue identificado como significativo, con una elevada probabilidad de que el entorno natural y humano pueda verse afectado por el desecho de estos residuos peligrosos. A raíz de esto, se plantea un diseño de propuestas de manejo acompañados de charlas de educación ambiental en cada unidad académica, y la utilización de un Equipo de Reciclaje de Lámparas Fluorescentes para su tratamiento y posterior disposición final a través del servicio de una Empresa Nacional.

Palabras clave: Lámpara fluorescente, Riesgo ambiental, Residuo peligroso.

Abstract

Fluorescent lamps have mercury among their components and its improper management can trigger severe environmental impacts on the air, water and soil; as well as health problems in people who come into contact with this highly toxic heavy metal. For this reason, this study proceeded to quantify the fluorescent lamps discarded as waste on the campus of National University of Itapúa; as well as to determine the situational diagnosis and environmental risk associated with their mismanagement, for which a Guide for Environmental Risk Assessment

was applied in order to propose strategies for its proper management. A total of 4028 fluorescent lamp units were identified on campus, 80% of which are in good working order, and the remaining 20% are damaged. According to the proposed scenario, the environmental risk was identified as significant, with a high probability that the natural and human environment could be affected by the disposal of these hazardous wastes. As a result of this, a design of management proposals is encouraged, accompanied by talks on environmental education in each academic unit, and the use of a Fluorescent Lamp Recycling Team for their treatment and subsequent final disposal through the service of a National Company.

Key words: Fluorescent lamp, Environmental risk, Hazardous waste.

1. Introducción

Las lámparas fluorescentes son una de las fuentes de iluminación más utilizadas por su eficiencia energética y bajo costo económico, y son el origen de un gran número de residuos en las instalaciones universitarias. Su inadecuada disposición una vez finalizada su vida útil genera gran impacto medioambiental debido principalmente a su composición química, ya que contienen mercurio (Hg), metal que además puede causar efectos adversos en la salud (1). La toxicidad del mismo depende de su forma química, por lo que los síntomas también varían de acuerdo al tipo de exposición, que puede ser al mercurio elemental, a los compuestos orgánicos o inorgánicos del mismo (2); la inhalación de vapor de mercurio elemental puede causar trastornos neurológicos y de comportamiento en los seres humanos; el metilmercurio puede provocar efectos perjudiciales en los niños en gestación; además, se observaron daños en el sistema nervioso periférico y en los riñones, tratándose de la exposición a compuestos inorgánicos de mercurio (World Bank, 2010, citado por Del Castillo y Mancebo, 2014) (3).

Las lámparas fluorescentes son focos de descarga en vapor de mercurio a baja presión; transforman la radiación ultravioleta en radiación visible por el efecto de descarga que activan los polvos fluorescentes que contienen; sus formas más frecuentes son las tubulares, circulares, tubos irregulares y en U (4), la más utilizada en toda la infraestructura de la Universidad es la tubular.

Según un estudio realizado por Cayama *et al.*, cada lámpara fluorescente contiene 22,39 mg de mercurio (4), es por ello que la EPA (Environmental Protection Agency), en el año 1990, emitió la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos, mediante la cual se identificó a las lámparas fluorescentes caducadas como desechos peligrosos que deberían tener un manejo más estricto y riguroso (5). A nivel nacional, en el Decreto Reglamentario de la Ley N° 3956/2009, que trata sobre la Gestión Integral de los Residuos Sólidos en la República del

Paraguay, indica que “estarán sujetos a un plan de manejo los residuos peligrosos y productos usados, caducos, retirados del comercio o que se desechen y que estén clasificados como tales” (6), entre los cuales cita a las lámparas fluorescentes y de vapor de mercurio.

Así surge el interés de plantear estrategias de manejo para una disposición final adecuada de este tipo de residuos generados en el campus de la Universidad Nacional de Itapúa. La investigación se inicia con la cuantificación de las lámparas fluorescentes desechadas como residuos en las instalaciones estructurales de la Institución, posteriormente se diagnosticó la situación actual del manejo de las mismas y se procedió a la evaluación de los riesgos asociados a la forma de manejo actual de estos residuos peligrosos; finalmente se procedió a describir las prácticas y procedimientos de manejo ambiental adecuados para los tubos fluorescentes desechados en el campus universitario. Las etapas definidas para la obtención de los resultados se basaron en la metodología aplicada en un Proyecto Tecnológico titulado “Propuesta de manejo de residuos de lámparas ahorradoras en la UAM - Azcapotzalco” (3), a excepción de la evaluación de riesgos, la cual se ha basado en la Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales de la Dirección General de Calidad Ambiental del Viceministerio de Gestión Ambiental de Perú (5).

2. Materiales y métodos

2.1. Diseño y tipo de Investigación

El diseño y tipo de la investigación según sus objetivos es descriptivo, porque se describe la situación actual del manejo de las lámparas fluorescentes en la universidad; y según sus fines es básica porque busca ampliar el conocimiento respecto a las lámparas y sus riesgos en el entorno natural y antrópico, para diseñar una propuesta de manejo de las mismas. Asimismo, según su enfoque corresponde al paradigma mixto, ya que representa un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de la investigación, e implica la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta. En cuanto a la secuencia temporal es transversal, ya que los datos se recolectaron en un único momento en el tiempo (7).

2.2. Descripción del área de estudio

Los datos fueron recolectados en el campus de la Universidad Nacional de Itapúa sede central, ubicado en la ciudad de Encarnación, Departamento de Itapúa, Paraguay. Actualmente cuenta con 2 hectáreas de superficie siendo 37.606 metros cuadrados de superficie total y 16.748 metros cuadrados de construcción (8).

2.3. Cuantificación de los tubos fluorescentes

El campus de la Universidad Nacional de Itapúa cuenta con un total de 6 facultades, además del sector del Rectorado y Posgrado, en cuyas unidades académicas se ha realizado un recorrido exhaustivo durante el mes de agosto del año 2019 para la contabilización de las lámparas fluorescentes. El registro se realizó de acuerdo al estado en que éstas se encontraban, clasificándolas en tres categorías, las lámparas en buen estado de funcionamiento; las que se encontraban dañadas, es decir, aquellas que dejaron de funcionar pero que aún no habían sido retiradas de los plafones de los tubos; y las almacenadas en los depósitos como residuos peligrosos. Los datos obtenidos fueron tabulados en Excel y se generaron gráficos estadísticos para estimar la cantidad de lámparas fluorescentes existentes en la Institución, de acuerdo a su estado de funcionamiento.

2.4. Diagnóstico situacional

Para determinar el sistema de manejo actual de los tubos fluorescentes descartados, se procedió a entrevistar a los encargados de mantenimiento de las diferentes unidades académicas del campus de la Universidad Nacional de Itapúa. Así también, se realizó una observación directa de las condiciones del sitio de almacenamiento temporal de estos residuos.

2.5. Riesgo ambiental asociado al manejo de los tubos fluorescentes

Se aplicó una Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales (5) para la identificación de peligros, determinación y análisis de escenarios, estimación de la gravedad y del riesgo, y la caracterización del riesgo asociado al manejo actual de los tubos fluorescentes. Esta guía es un instrumento ambiental de fácil comprensión y aplicación que permite estimar los posibles riesgos ambientales generados por factores antrópicos y naturales, y es una propuesta de la Dirección General de Calidad Ambiental del Viceministerio de Gestión Ambiental de Perú. A nivel nacional no se cuenta con un material con estas características, razón por la cual se ha optado por trabajar en base a dicho documento.

2.6. Diseño de propuestas de manejo para los tubos fluorescentes destacados

Por último, se describieron las prácticas y procedimientos de manejo ambiental adecuado para los tubos fluorescentes desechados, como sugerencias de los autores de este trabajo, para su aplicación en el campus de la Universidad Nacional de Itapúa, teniendo en cuenta la cantidad de este tipo de residuos generados y la situación actual de manejo de los mismos en la Institución.

3. Resultados y Discusión

3.1. Lámparas contabilizadas

A continuación, en la Tabla 1 se presenta el resumen de las lámparas contabilizadas en cada una de las unidades académicas de la institución, según su estado actual:

Tabla 1. Número de lámparas fluorescentes contabilizadas por unidad académica en la Universidad Nacional de Itapúa.

Unidad Académica	Cantidad y estado de las lámparas fluorescentes			
	En funcionamiento	Dañadas	Retiradas	Cantidad
Rectorado	381	63	0	444
Posgrado	338	85	0	423
Ciencias y Tecnología	624	206	0	830
Ciencias Jurídicas	384	85	0	469
Humanidades, Ciencias Sociales y Cultura Guaraní	354	58	0	412
Ingeniería	399	112	0	511
Ciencias Económicas y Administrativas	634	68	0	702
Ciencias Agrarias y Forestales	96	141	0	237
Total	3210	818	0	4028

En la Tabla 1 es posible observar que una cantidad de 3210 lámparas, correspondientes al 80% del total contabilizado, se encuentran en buen estado de funcionamiento; mientras que 818 lámparas, correspondientes al 20%, se encuentran dañadas. Por otro lado, en cuanto a las lámparas que fueron retiradas, éstas no se pudieron contabilizar, debido a que han sido totalmente desechadas como residuos comunes, y no almacenadas en los depósitos como residuos peligrosos para su posterior disposición final.

En cuanto a la distribución de estas lámparas, es posible observar que la dependencia que genera una mayor cantidad de estos residuos es la Facultad de Ciencias y Tecnología, seguida de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas. Por el contrario, la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, genera la menor cantidad, debido probablemente a su propia infraestructura, ya que es la más pequeña en el campus, teniendo en cuenta que dicha facultad funciona en la ciudad de San Pedro del Paraná. Por otra parte, es notable la cantidad de lámparas dañadas registradas en la FaCAF, las cuales superan a las que se encuentran en funcionamiento.

3.2. Manejo actual de lámparas fluorescentes

Según la información brindada por los encargados de mantenimiento de las diferentes Dependencias de la Institución, respecto a la forma de manejo de estos residuos peligrosos, se ha identificado una gran problemática actual que debe ser atendida de manera inmediata. En la actualidad, estos residuos son desechados sin ningún tipo de precaución, y las personas encargadas del servicio de limpieza tienen contacto permanente con el componente tóxico de estas lámparas, ya que por su volumen estas personas las rompen manualmente y luego las desechan, exponiéndose directamente al mercurio que contienen. Se ha detectado que ninguna Dependencia realiza una correcta gestión de estos tubos fluorescentes, sino que las desechan como un residuo común. Agregaron, además, que las lámparas fluorescentes tienen un tiempo de vida útil aproximado de 3 meses; siendo ésta la situación, se estaría generando anualmente una cantidad aproximada de 13.658 residuos peligrosos. Sin embargo, según los encargados de mantenimiento, se da el caso de lámparas que sólo funcionan durante un mes, y otras tan solo una semana. De ser así estaríamos hablando de la generación anual de aproximadamente 40 mil unidades de residuos de este tipo, sin ningún tipo de manejo.

3.3. Evaluación del riesgo ambiental

3.3.1. Identificación de fuentes de peligro

A continuación, en la Tabla 2 se presentan las características de la sustancia identificada como fuente de peligro en la institución, teniendo en cuenta lo que se establece en la Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales (5):

Tabla 2. Definición de fuente de peligro

Tipología de peligro	Sustancia	Causa Físico Química										Volumen	
		Tipo		Peligrosidad									Otro
		MP	R	Mi	Mt	li	Exp	Inf	Cor	Com			
Antrópico	Mercurio		X		X							bioacumulable	3733 gr/m ³

Donde:

TIPO: MP = Materia Prima R= Residuo
 PELIGROSIDAD: Mi= Muy inflamable Mt= Muy tóxico li= Irreversible inmediato Exp= Explosiva
 Inf= Inflamable Cor= Corrosivo Com= Combustible
 VOLUMEN: Gramos de mercurio por m³, teniendo en cuenta que 1 tubo fluorescente tiene un volumen de 0,0006 m³ y contiene 2,24 gr de mercurio.

3.3.2. Formulación del escenario de riesgo

En la Tabla 3 se presenta el escenario de riesgo correspondiente a la fuente de peligro identificada, según la misma Guía de Evaluación (5):

Tabla 3. Formulación del escenario de riesgo

Ubicación de zona	Tipología de peligro		Sustancia o evento	Escenario de riesgo	Causas	Consecuencias
	Natural	Antrópico				
Campus universitario		X	Mercurio	Emisión de residuo tóxico por desecho de lámparas fluorescentes.	Quiebre de lámparas fluorescentes por parte de los funcionarios del servicio de limpieza.	Afecta a la calidad del suelo, el aire, el agua subterránea y superficial; a la cadena alimentaria concerniente a seres humanos, por bioacumulación, concretamente en peces; a la calidad de vida de los funcionarios del servicio de limpieza. Incremento de enfermedades gastrointestinales, respiratorias y neurológicas.

3.3.3. Estimación de la gravedad de las consecuencias para el entorno natural y humano

En la Tabla 4 se observa que, según los valores asumidos para cada variable de acuerdo al entorno, tanto Natural como Humano (Cuadro N° 11 de la Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales) (5), considerando el escenario de riesgo presentado en la Tabla 3; y los resultados de vulnerabilidad obtenidos a partir del cálculo aplicado, el valor asignado para la gravedad de las consecuencias es de 5, y por lo tanto, crítico.

Tabla 4. Estimación de la gravedad de las consecuencias para el entorno natural y humano

Gravedad	Límites del entorno	Vulnerabilidad
Entorno natural	(= cantidad + 2 peligrosidad + extensión)	(+ calidad del medio)
	15	19
Entorno humano	(= cantidad + 2 peligrosidad + extensión)	(+ calidad del medio)
	14	18
Valor	Valoración	Valor asignado
Crítico	18 a 20	5
Grave	15 a 17	4
Moderado	11 a 14	3
Leve	8 a 10	2
No relevante	5 a 7	1

3.3.4. Estimación del riesgo ambiental para el entorno humano y natural

El resultado anterior fue aplicado para la estimación del riesgo ambiental según la matriz que se presenta en el Gráfico 1, en el cual se puede observar que para ambos entornos (EN y EH), se otorga un valor de 4, que según el rango de estimación probabilística (Cuadro N° 09 de la Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales) (5), corresponde a una alta probabilidad de ocurrencia del escenario de riesgo presentado.

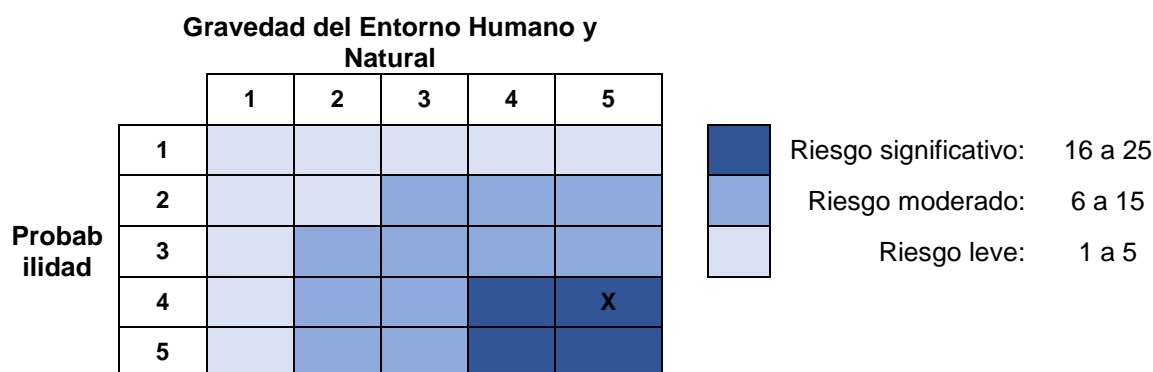


Gráfico 1. Matriz de estimación del riesgo ambiental

3.3.5. Caracterización del riesgo ambiental

A partir del resultado obtenido en la matriz del Gráfico 1 se caracterizó el riesgo ambiental identificado, como se muestra en la Tabla 5:

Tabla 5. Caracterización del riesgo ambiental

Escala del riesgo	Valor matricial	Valor porcentual
Riesgo significativo	16 a 25	64 a 100
Riesgo moderado	6 a 15	24 a 60
Riesgo leve	1 a 5	1 a 20

Por lo tanto, como puede observarse, el riesgo es significativo, es decir, la probabilidad de que el Entorno Natural y Humano de la Universidad Nacional de Itapúa se vea afectado por la ocurrencia del escenario presentado es elevado.

3.4. Diseño de propuestas de manejo para los tubos fluorescentes destacados

Considerando todo lo anterior se propone almacenar en los depósitos (de materiales e insumos) de cada unidad académica las lámparas retiradas, durante un periodo de tiempo corto, no mayor a un mes, con el fin de evitar la acumulación masiva de estos residuos peligrosos. Se recomienda que estas lámparas se almacenen en envoltorios de cartón para conservar su estructura. Posteriormente se sugiere trasladarlos hasta el Laboratorio de Residuos de la FaCyT para someterlos a un sistema de tratamiento especializado, para el cual se requerirá de un Equipo de Reciclaje de Lámparas Fluorescentes que posea la capacidad de extraer vapores de mercurio de las mismas a través de un sistema de filtrado de alta eficiencia HEPA, y triturar el material envolvente. El material triturado resultante deberá desecharse como residuo común, y el mercurio extraído se almacenará de manera aislada a cualquier otro tipo de residuos y en un lugar específico sin humedad; para luego proceder a su disposición final a través del servicio de una Empresa Nacional que gestione residuos peligrosos. Para el almacenamiento del mercurio extraído se recomienda seguir las instrucciones de la empresa que se encargará de retirarlos.

Finalmente, se sugiere acompañar todo el proceso del plan diseñado, con Charlas de Educación Ambiental, dirigidas a los encargados de mantenimiento de cada unidad académica, a fin de contribuir al buen manejo de estos residuos.

4. Conclusión

En la Universidad Nacional de Itapúa se utilizan importantes cantidades de lámparas fluorescentes para el sistema de iluminación de toda su estructura edilicia; siendo la Facultad de Ciencias y Tecnología la principal generadora de estos residuos, por los requerimientos de iluminación de los laboratorios con los que cuenta.

Sin embargo, el tiempo de vida útil de las mismas es muy reducido, es decir, se vuelven obsoletas en muy poco tiempo, según la información proveída por los entrevistados, por lo que constantemente se generan este tipo de residuos, los cuales, por su composición química son considerados como peligrosos, representando una fuente de peligro y un riesgo significativo para el Entorno Natural y Humano de la Institución. Las características fisicoquímicas de este metal pueden causar efectos adversos para muchos organismos vivientes luego de una exposición directa y/o indirecta al mismo, como consecuencia de la rotura de las lámparas, cuya situación implica una gran necesidad de contar con un manejo adecuado y seguro para el cuidado del ambiente y la salud de las personas que tienen contacto con este tipo de residuos.

El presente estudio es de suma importancia para el manejo de residuos peligrosos, y puede servir como referencia para su réplica en otras instituciones educativas que deseen gestionar de manera sustentable la generación de los mismos.

Conflicto de interés: Los autores declaran que la información contenida en este artículo puede ser publicada libremente, ya que no existe conflicto de interés para su realización.

Agradecimientos: A todas las Unidades Académicas de la Universidad Nacional de Itapúa, por permitir acceder a las instalaciones para la obtención de los datos necesarios.

A Wilma Dalila González Finger, Enrique Geremias Ayala Jiménez y Tobias Nahuel Durand Acuña, por acompañar en el proceso de recolección de datos para la investigación.

Bibliografía

1. Sánchez Barboza, Leadina, Lucena Mogollón, María Gabriela y Vásquez Stanescu, Carmen. *Emisiones de mercurio por uso de las lámparas fluorescentes compactas y por generación de energía eléctrica a base de combustibles fósiles*. Samborondón, Guayas, Ecuador: Revista Científica ECOCIENCIA, 16 de agosto de 2017. Vol. 4. 1390-9320.
2. Montenegro Mora, Karina Lizbeth y Nicolalde Carlosama, Andrea Soledad. *Diagnóstico y evaluación experimental del tratamiento de lámparas fluorescentes mediante el equipo BALCAN modelo FSL 110 en INCINEROX Cía. Ltda. Distrito Metropolitano de Quito, 2012*. Quito : s.n., 2012.
3. Del Castillo Reyes, Marianna Mancebo. *Propuesta de manejo de residuos de lámparas ahorradoras en la UAM - Azcapotzalco*. Azcapotzalco, Ciudad de México, México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2014.

4. Cayama, A., De Sousa, C. y Correia, A. *Propuesta de un plan de recuperación de mercurio de lámparas fluorescentes desechadas*. Valencia - Venezuela, Valencia, Venezuela : Revista Ingeniería y Sociedad - UC, 13 de 12 de 2013. Vol. 9. 1856-352x.
5. Montalvo Figueroa, Ysabel y Luque Luque, Jennife. *Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales*. [ed.] Verónica Mendoza Díaz. Lima : Serv. Gen. Q&F Hnos. S.A.C., 2009.
6. Secretaría del Ambiente. Decreto N° 7391. *Por el cual se reglamenta la Ley N° 3956/2009, "Gestión integral de los residuos sólidos en la República del Paraguay"*.
7. Hernández Sampieri, Roberto. *Metodología de la investigación*. 6ta. s.l. : Interamericana Editores, S.A. DE C.V., 2014. pág. 634. 978-1-4562-2396-0.
8. Universidad Nacional de Itapúa. Universidad Nacional de Itapúa. [En línea] 2017. [Citado el: 04 de mayo de 2021.] <http://uni.edu.py/historia-de-la-uni/>.
9. Miranda Mejía, José Remberto, Martínez Gómez, Samuel y Hernández Miranda, John Figerald. *Análisis del tratamiento actual de las lámparas fluorescentes, nivel de contaminantes y disposición final*. 1º. San Salvador : Tecnoimpresos, S.A. de C.V., 2014. pág. 115.