

Producción más Limpia en una industria del sector eléctrico.

Dra. Quetzalli Aguilar-Virgen¹, Dr. Paul Taboada-González², Dr. José Luis González-Vazquez³.

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería / Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, Baja California, México, Calzada Universidad No. 14418, Parque Industrial Internacional Tijuana. C.P. 22424.
qaguilar@uabc.edu.mx¹, ptaboada@uabc.edu.mx², jose.gonzalez@uabc.edu.mx³, Tijuana, Baja California, México.

Resumen

En una empresa del sector eléctrico, localizada en el Norte de México, se busca garantizar el cumplimiento efectivo de la legislación, mejorar la eficiencia de sus procesos de producción, su desempeño ambiental y su competitividad. Estas acciones le permiten a la empresa continuar con la distinción de Industria Limpia con estrategias de producción más limpia. Como parte del proceso de mejora continua, el objetivo de este estudio fue evaluar las distintas fuentes de residuos peligrosos generados para posteriormente reducir los impactos ambientales y los costos ocasionados por el manejo inadecuado. Se realizaron acciones de evaluación de las mejores prácticas, capacitación del personal, mejoras en alternativas de disposición final e implementación de nuevos procesos de tratamiento en diferentes secciones del proceso. En el diagnóstico se observó que el 20% de las corrientes residuales impactan el 80% de los costos de la empresa. Se logró el 25% de reducción de volumen de residuo peligroso generado. También se propuso una alternativa de separación de metales con los operadores evitando la mezcla de residuos peligrosos con residuos no peligrosos, llamados residuos de manejo especial. La reducción de costos brindados a la empresa asciende en un año a USD \$33,780, que incluyen los ahorros por la eliminación de compra de materiales de empaque, cambios de presentación de algunas materias primas, venta de residuos metálicos, entre otros. En el proyecto se corroboró que con pequeños cambios en el proceso se pueden obtener beneficios ambientales y económicos.

Palabras clave— Excelencia ambiental, ISO 14001, Reducción de costos, Residuos peligrosos, Zero Landfill

Abstract

A company in the electrical sector located in the North of Mexico aims to ensure effective compliance with legislation and improve the efficiency of its production processes, environmental performance, and competitiveness. These actions allow the company to continue with the distinction of Clean Industry with cleaner production strategies. As part of the continuous improvement process, the objective of this study was to evaluate the different sources of hazardous waste generated to subsequently reduce the environmental impacts and costs caused by inadequate management. Actions were taken to assess best practices, train staff, improve final disposal alternatives, and implement new treatment processes in different sections. The diagnosis observed that 20% of the

residual streams impact 80% of the company's costs. A 25% reduction in the volume of hazardous waste generated was achieved. An alternative for separating metals was also proposed by operators, avoiding the mixing of hazardous waste with non-hazardous waste, called special handling waste. The cost reduction provided to the company amounts to USD \$33,780 in one year, which includes savings from the elimination of the purchase of packaging materials, changes in the presentation of some raw materials, and the sale of metal waste, among others. The project confirmed that environmental and economic benefits can be obtained with minor changes in the process.

Keywords— Environmental Excellence, ISO 14001, Cost Reduction, Hazardous Waste, Zero Landfill

1. INTRODUCCIÓN

Los impactos ambientales han evolucionado a nivel mundial, como resultado del intenso desarrollo industrial global. En esa perspectiva, cualquier degradación ambiental que pueda ocurrir en cualquier lugar específico del planeta puede dañar todo el ecosistema local, y su impacto negativo también se puede sentir en cualquier otra región [1]. Como medida eficaz para mitigar los conflictos entre la protección del medio ambiente y el desarrollo económico, la producción más limpia ha sido ampliamente reconocida como uno de los mejores caminos para lograr el desarrollo sostenible [2].

El enfoque de la producción más limpia está relacionado con la ecoeficiencia, la producción/industria verde y la producción sostenible. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) define la producción más limpia como "la aplicación continua de una estrategia ambiental integrada a los procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia y reducir los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente".

En el caso de los procesos de producción, la producción más limpia incluye: 1) la conservación de las materias primas y la energía, 2) la eliminación de las materias primas tóxicas, y 3) la reducción de la cantidad y la toxicidad de todas las emisiones y residuos antes de que abandonen el proceso. En el caso de los productos, la estrategia se centra en la reducción de los impactos a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, desde la extracción de la materia prima hasta su eliminación final [3].

Los resultados técnicos, ambientales y económicos de las empresas industriales pueden incrementarse con la aplicación de estrategias de producción más limpias, aplicando conocimientos técnicos, mejorando la tecnología y cambiando las actitudes. Además, se sabe que las medidas de producción más limpia proporcionan ventajas en términos de normas/límites de descarga legal [4]. También la mejora del uso de los recursos contribuye a la competitividad, el beneficio y el desempeño ambiental de una empresa [5,6].

Sobre todo, en las pequeñas y medianas empresas (PyMES), ya que, en México, representan el 99.6% del total de empresas, clasificadas en los sectores de manufactura, comercio y servicios [7]. Aplicar prácticas sustentables, contribuye en el bienestar local y estatal, por consecuente

contribuye al desarrollo nacional y económico del país. Patricio et al. [8] expone que las PyMES en comparación con las empresas grandes enfrentan más desafíos para implementar prácticas sustentables, por falta de financiamiento, acceso a mejoras tecnológicas, entre otros. Sugiere que para que las empresas mejoren su desempeño ambiental, se requiere conocimiento, creatividad e innovación constante.

Yilmaz et al. [9] mencionan que a menudo, para un proceso de fabricación dado, existen múltiples enfoques para la prevención de la contaminación que pueden aplicarse solos o en combinación. La elección del enfoque más eficiente y rentable puede resultar desafiante, ya que el proceso de toma de decisiones implica compromisos entre aspectos económicos y ambientales.

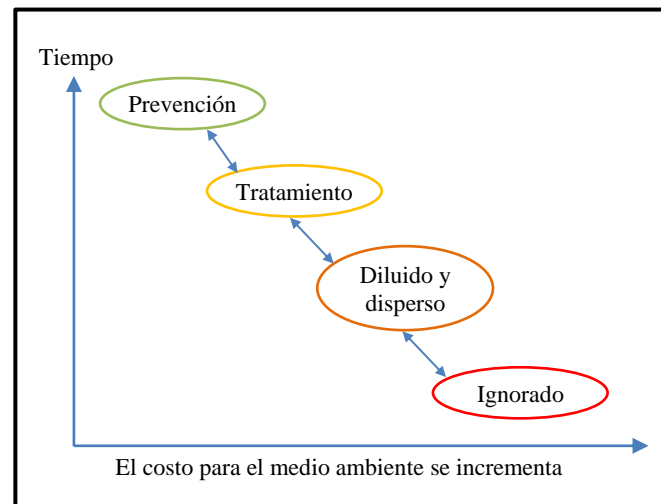
Cardoso et al. [6] y Dodic et al. [10] reportan que la producción más limpia se caracteriza por una gran cantidad de actividades, tales como:

- Reducción de la cantidad de residuos – el objetivo de la producción más limpia es la reducción de la cantidad de residuos de todo tipo, especialmente de los residuos peligrosos. El objetivo supremo de la producción más limpia es la prevención de la creación de residuos (residuo cero).
- Producción sin contaminación – el proceso ideal basado en la producción más limpia se realiza con reciclaje durante el proceso y sin emisiones de contaminantes.
- Producción energéticamente eficiente – la producción más limpia exige el mayor nivel posible de eficiencia energética y ahorro de recursos energéticos.
- Seguridad en el trabajo – la producción más limpia minimiza la aparición de condiciones de posibilidad de ocurrencia de los accesos y asegura condiciones seguras y saludables para las actividades humanas durante el proceso de producción.
- Producción adaptada al medio ambiente – la producción más limpia tiende a que los productos principales y los subproductos estén en consonancia con el medio ambiente. Todos los problemas relacionados con los productos deben resolverse en el marco del desarrollo y diseño de un producto, teniendo en cuenta el ciclo de vida total del mismo.
- Embalaje armonizado con el medio ambiente – los efectos de los embalajes sobre el medio ambiente deben minimizarse tanto como sea posible.

Al no realizar estas acciones, se pueden tener diferentes escenarios con mayor o menor grado de impacto ambiental. En este sentido Chia y Hadibarata [11], señalaron que existen cuatro posibles respuestas de las industrias ante la contaminación. La primera será que la industria ignore todas las consecuencias que causa al medio ambiente, lo que conduce al máximo daño al medio ambiente. En segundo lugar, la contaminación se “diluye” al volverse menos dañina para los seres humanos y el medio ambiente. La siguiente etapa es tratar la contaminación a través del llamado enfoque de final de tubería. El último enfoque es prevenir la contaminación y la generación de residuos en la fuente. La

Figura 1 muestra las tendencias del tratamiento de la contaminación.

Fig. 1. Respuestas de las empresas ante la contaminación ambiental.



Fuente: Chia y Hadibarata [11].

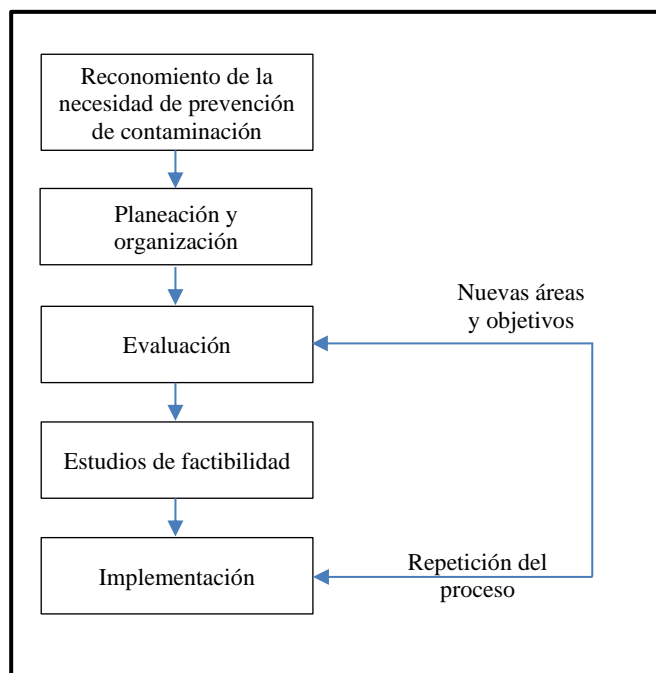
Con la finalidad de enfocarse en la prevención se han desarrollado diferentes programas, manuales, y estrategias a lo largo de los años, dando como resultado un esquema general para la aplicación de producción más limpia. Dieleman [12] mostró que la metodología utilizada en los proyectos de producción más limpia se centra en la identificación e implementación de las llamadas opciones u oportunidades de producción más limpia. La definición de producción más limpia tal como la utiliza el PNUMA refleja la esencia de la metodología. La esencia de la metodología es, en primer lugar, identificar las fuentes de producción de residuos y emisiones dentro del proceso de producción. Una vez identificadas dichas fuentes, el siguiente paso es pensar en todas las formas posibles de eliminarlas o reducirlas. Una vez que se genera una variedad de opciones potenciales, la metodología prescribe realizar estudios de viabilidad para evaluar las consecuencias económicas y ambientales de las opciones. Finalmente se proponen para su implementación aquellas opciones que resultan viables desde el punto de vista económico y financiero. Estos pasos posteriores se pueden caracterizar como (1) una fase de planificación y organización, (2) una fase de evaluación para identificar residuos y emisiones y opciones de cambio, (3) una fase de análisis de factibilidad y (4) una fase de implementación y continuación (ver Fig. 2).

Aplicando dicha metodología, Dodic et al. [10] exponen que se pueden lograr ahorros y ganancias mediante:

- el uso racional de las materias primas, agua y energía,
- la disminución de los costos de fabricación,
- la disminución de las cantidades de residuos y de emisiones,
- el aumento del grado de productividad y la mejora de la calidad de los productos,

- disminución del grado de responsabilidad en materia de indemnizaciones (cumplimiento de obligaciones en materia de seguridad en el trabajo y de leyes en materia de protección del medio ambiente),
- creación de empresas amigables con el medio ambiente.

Fig. 2. Fases en proyectos de Producción más Limpia basada en el manual de EE.UU./EPA.



Fuente: Dieleman [12].

Por lo descrito anteriormente y con la finalidad de reducir tanto los efectos negativos para el medio ambiente como los costos operativos. Una empresa del sector eléctrico localizada en el Norte de México ha decidido trabajar con métodos preventivos integrados en el proceso en lugar de soluciones al final de proceso, poniendo especial atención en su proceso y enfocándose en los altos volúmenes de generación y costos de disposición de residuos peligrosos. Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar las distintas fuentes de residuos peligrosos generados para reducir los impactos ambientales y los costos ocasionados por el manejo inadecuado.

2. METODOLOGÍA

El primer paso fue determinar el diagnóstico de la situación actual. Se utilizó un diagrama de Pareto con los datos históricos de tres años relacionando las corrientes residuales con los costos. Se verificó la aplicación de la normatividad vigente relacionada con el manejo de residuos sólidos de las siguientes normas:

- NOM-052-SEMARNAT-2005. Establece las características, el procedimiento de identificación y los listados de los residuos peligrosos a nivel nacional [13].

- NOM-005-STPS-1998. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas [14].
- NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002. Referente a protección ambiental, salud ambiental, residuos peligrosos Biológico-infecciosos, clasificación y especificaciones de manejo [15].

Se propusieron diferentes alternativas para minimizar los principales problemas expuestos con el diagrama de Pareto con una lluvia de ideas y un diagrama de Ishikawa. Para ello, se unificaron las corrientes residuales que tenían las mismas características de corrosivo, reactivo, inflamable y tóxico ambiental (CRIT), principalmente las de estado líquido, siguiendo el artículo 84 de la SEMARNAT (2006) del Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (RLGPGIR) [16].

Se analizaron las máquinas generadoras de la corriente residual de solución acida y se realizó una separación de metales de la corriente residual de la rebaba de metal y plástico. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis CRIT al residuo generado, para verificar que se pudiera manejar como residuos no peligrosos, en México llamado como residuo de manejo especial (RME). Además, se buscó un mejor material para llevar a cabo el mantenimiento preventivo de la maquinaria donde se generaba la corriente residual de sólidos con grasa. También se implementaron diferentes técnicas para reducir el volumen en corriente residual de envases vacíos. Se analizó la corriente residual de sólidos con solventes y pinturas y se buscaron alternativas para el proceso de limpieza del herramental. Por último, se organizó una reunión con directivos de la empresa encargada de proveer el servicio de recolección de residuos peligrosos.

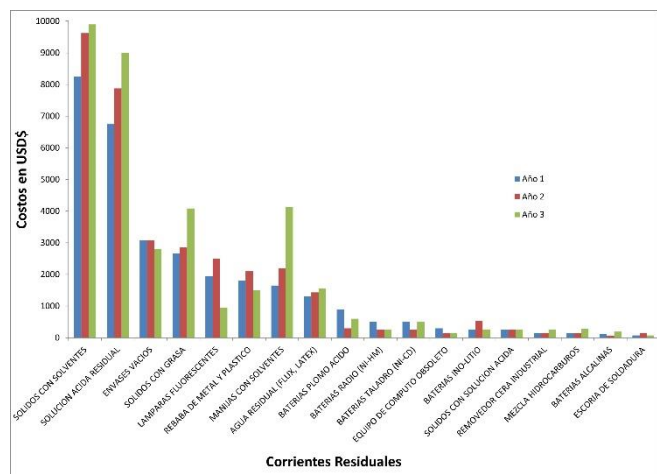
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tendencia de los costos de la empresa durante los últimos 3 años por corriente residual se muestra en la Figura 3; como se puede observar se cuenta con 18 corrientes residuales. El 20% de las corrientes residuales impactan el 80% de los costos de la empresa; los cuales son los primeros seis elementos: sólidos con solventes (27%), solución acida residual (23%), envases vacíos (9%), sólidos con grasa (9%), lámparas fluorescentes (5%), rebaba de metal y plástico (5%). Los análisis mostraron que las corrientes residuales que se pueden unificar son las aguas residuales con flux (ácido bórico 2-10%, fluoborato de sodio 2-10%, tetraborato de sodio 1-5%) y látex, y la mezcla de hidrocarburos. En esos perfiles no existe variación en las características físicas ni químicas, por lo que no hay problema en mezclar la corriente residual y disponerse en un solo perfil. Al realizar esta actividad se obtuvo un ahorro de USD \$520 al año, eliminando los costos de hacer la disposición de las corrientes residuales por separado.

Se analizaron las máquinas que generaron la corriente residual de la solución acida y se encontró que el diámetro de salida del material de limpieza (ácido clorhídrico mezclado con agua) y el flujo de disparo eran de diámetros diferentes. Al realizar los ajustes en las máquinas para estandarizar los

diámetros se redujo el volumen de residuo generado en un 25%, obteniendo un ahorro de USD \$10,640 anuales.

Fig. 3. Costos de disposición de residuos peligrosos, Años 1, 2 y 3.



En el taller de máquinas y herramientas se generaba otra corriente residual; después del trabajo realizado las rebabas de metal eran mezcladas con aceite y refrigerante, por lo que se consideraba tóxico para el medio ambiente. Por ello, se separaron los metales con ayuda de los operadores y posteriormente se realizaba un análisis CRIT para verificar el residuo. Esta nueva práctica originó que se eliminara una corriente residual peligrosa y se convirtiera en una corriente de RME. Debido a este cambio se obtuvo un ahorro anual de USD \$2,332 ya que no se utilizaba un servicio externo para la disposición de residuos peligrosos.

Otra corriente residual generada en su mayoría en las áreas de mantenimiento de edificios y maquinaria es la de sólidos con grasa. Para disminuir el impacto, se reemplazó los trapos utilizados por toallas de papel al realizar los mantenimientos preventivos a maquinaria. El ahorro proyectado en este cambio fue de la reducción de un contenedor de residuo peligroso que equivale a USD \$140 anuales. También se cambió el tipo de contenedor de empaque, proyectando un ahorro de USD \$5,327 anuales. El cálculo del ahorro también incluye la eliminación de compra de tambos vacíos para el empaque, cada tambo cuesta USD \$50.

En la corriente residual de envases vacíos se obtuvieron los siguientes resultados: la reutilización de cubetas vacías con un ahorro anual de USD \$250; disposición de botes de crema como corriente residual normal con un ahorro de USD \$250; menor volumen en la disposición de contenedores vacíos de disolvente con un ahorro anual de USD \$280; reemplazo de contenedores de galón de aceite LPS3 (con capacidad de 255 galones de repuesto) utilizado para engrasar materias primas dentro del proceso, con un ahorro proyectado anual de USD \$5,500.

En el caso de la corriente residual de sólidos con solventes y pinturas (genera el costo más alto, 27%) se generaron dos actividades: concientización de personal y cambio del método de limpieza de las herramientas que se utilizan en el proceso. En el primer caso, se realizaron talleres de sensibilización a todo el personal de la empresa, se colocaron ayudas visuales

y diagramación de procedimientos. En el segundo caso, se redujo el consumo de disolvente logrando un ahorro anual de USD \$878.

Otro elemento importante que se obtuvo fue la reducción de costos de disposición de residuos peligrosos, a través de una reunión con los proveedores del servicio. El acuerdo proporcionó un ahorro anual de USD \$7,664, considerando el mismo volumen del último año.

El ahorro total anual de los cambios que se mencionan anteriormente es de USD \$33,780. En dichos ahorros se incluyen los de eliminación de compra de materiales de empaque, cambios de presentación de algunas materias primas, venta de residuos metálicos, entre otros.

Estos resultados concuerdan con lo expuesto por Chia y Hadibarata [11] quienes reportan que, a través de los procesos de producción más limpia, se pudieron eliminar o minimizar muchos de los costos de producción no deseados, como los costos de manejo y descarga de residuos, el ingreso de materias primas, las primas de seguro y el riesgo potencial por el uso de productos químicos nocivos. Además de eso, otros impactos positivos indirectos podrían ser la mejora de la imagen de la empresa, la mejora del desempeño de la empresa y el aumento de su competitividad con otras empresas.

4. CONCLUSIONES

En la elaboración de la presente investigación se puede apreciar que con tan solo hacer un cambio menor en el proceso se pueden obtener grandes beneficios, como lo es la reducción del volumen generado de una corriente residual en la planta en un 25%.

Los cambios mostrados a través de las actividades de capacitación, reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, almacenamiento y disposición cumplen con los principios de responsabilidad compartida y manejo integral que forman parte de una industria limpia. Teniendo también un beneficio económico anual de USD \$33,780. La empresa busca en sus procesos la valorización, eficiencia, mejoramiento ambiental, tecnológico, económico y social.

Es importante resaltar los talleres de sensibilización para todos los empleados de la empresa, con la finalidad de que ellos estén consientes de los impactos que pueden generar en sus procesos. De esta forma, ellos mismos pueden buscar la manera de impactar en la reducción de los residuos generados en la planta y al mismo tiempo se llevan estas buenas prácticas a sus hogares.

5. REFERENCIAS

- [1] E.A. Severo, J.C. Ferro, E.C. Henri, and C.H. Nodari, "Cleaner production, environmental sustainability and organizational performance: an empirical study in the Brazilian Metal-Mechanic industry", *Journal of Cleaner Production*, vol. 96, pp. 118-125, 2015.
- [2] I.S. Chang, J. Wu, H. Qiao, and Z. Zhang, "The spatio-temporal approach to regional analysis on cleaner production

- in China”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 52, pp. 1491-1503, 2015.
- [3] L. Nilsson, P.O. Persson, L. Rydén, S. Darozhka, A. Zaliauskiene, *Cleaner Production Technologies and Tools for Resource Efficient Production*, Baltic University Press, 2007.
- [4] E. Ozturk, H. Koseoglu, M. Karaboyaci, N.O. Yigit, U. Yetis, and M. Kitis, “Sustainable textile production: cleaner production assessment/eco-efficiency analysis study in a textile mill”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 138, pp. 248-263, 2016.
- [5] J.J. Cabello Eras, A. Sagastume Gutiérrez, D. García Lorenzo, J.B. Cogollos Martínez, L. Hens, and C. Vandecasteele, “Bridging universities and industry through cleaner production activities. Experiences from the Cleaner Production Center at the University of Cienfuegos, Cuba”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 108, pp. 873-882, 2015.
- [6] W. Cardoso Satyro, J. Celso Contador, S. Francisca de Paula Monken, A. Ferreira de Lima, G. Gomes Soares Junior, J. Anderson Gomes, J.V. Silva Neves, J.R. do Nascimento, J. Lima de Araújo, E. de Siqueira Correa, and L. Simplício Silva, “Industry 4.0 Implementation Projects: The Cleaner Production Strategy—A Literature Review”, *Sustainability* vol. 15, art. 2161, 2023. <https://doi.org/10.3390/su15032161>
- [7] SE. (2016). Se difunden estadísticas detalladas sobre las micros, pequeñas y medianas empresas del país. Gobierno de México. [online] Available at: <http://www.gob.mx/se/prensa/se-difunden-estadisticas-detalladas-sobre-las-micro-pequenas-y-medianas-empresas-del-pais-46847> [Accessed 30 mayo 2023]
- [8] J. Patricio, L. Axelsson, S. Blomé, and L. Rosado, “Enabling industrial symbiosis collaborations between SMEs from a regional perspective”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 202, pp. 1120-1130, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.230>
- [9] O. Yilmaz, A. Ançil, and T. Karanfil, “LCA as a decision support tool for evaluation of best available techniques (BATs) for cleaner production of iron casting”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 105, pp. 337-347, 2015.
- [10] S.N. Dodić, D.G. Vučurović, S.D. Popov, J.M. Dodić, and Z.Z. Zavargo, “Concept of cleaner production in Vojvodina”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 1629-1634, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.02.004>
- [11] X.K. Chia, and T. Hadibarata, “Cleaner production: a brief review on definitions, trends and the importance in environment protection”, *Environmental and Toxicology Management*, vol. 1, pp. 23-27, 2021. <https://doi.org/10.33086/etm.v1i2.2273>
- [12] H. Dieleman, “Cleaner production and innovation theory; social experiments as a new model to engage in cleaner production” *Revista internacional de contaminación ambiental*, vol. 23, pp. 79-94, 2007.
- [13] SEMARNAT. (2006). NOM-052-SEMARNAT-2005. Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. Diario Oficial de la Federación (DOF), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), México, D.F. [online] Available at: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD02/DO2282.pdf> [Accessed 07 febrero 2023]
- [14] STPS. (1999). NOM-005-STPS-1998, Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas. Diario Oficial de la Federación (DOF), Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS), México, D.F. [online] Available at: <http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/Nom-005.pdf> [Accessed 07 febrero 2023]
- [15] SEMARNAT. (2003). NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002, Protección ambiental - Salud ambiental – Residuos peligrosos biológico-infecciosos - Clasificación y especificaciones de manejo. Diario Oficial de la Federación (DOF), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), México, D.F. [online] Available at: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/087ecolssa.htm> [Accessed 07 febrero 2023]
- [16] SEMARNAT. (2006). Reglamento de la ley general para la prevención y gestión integral de los residuos. Diario Oficial de la Federación (DOF), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), México, D.F. [online] Available at: http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1162/1/reglamento_de_la_ley_general_para_la_prevenccion_y_gestion_in.pdf [Accessed 07 febrero 2023]