

El Programa de Separación Selectiva de Residuos de la Universidad Autónoma de Nayarit: un caso de éxito en el manejo adecuado de residuos electrónicos.

Claudia Saldaña^{a*}, Graciela Birrueta Flores^a, Sarah Messina^a.

^aUniversidad Autónoma de Nayarit, Ciudad de la Cultura S/N CP 63000, Tepic, Nayarit, México.

*E-mail: cesduran@uan.edu.mx

Recibido 24 de octubre de 2016, Aceptado 21 de diciembre de 2016

Resumen

En México, los residuos sólidos urbanos son una problemática de contaminación ambiental y un tema que requiere ser tratado desde la transversalidad. El estilo de vida actual, basado en una dinámica de consumo, conlleva al uso masivo de diversas tecnologías; entre ellas, los equipos electrónicos. Una vez que éstos terminan su vida útil, se convierten en residuos, llamados e-waste, que, en la mayoría de los casos, son dispuestos en vertederos a cielo abierto, sin programas de manejo especial. Estos residuos se componen de metales y diversas sustancias nocivas a la salud, emitiendo gases tóxicos que generan problemas ambientales y de salud pública. La presente investigación tiene como objetivo mostrar los resultados del Programa de Separación Selectiva de la Universidad Autónoma de Nayarit (UAN), que para el caso específico de los residuos electrónicos se denominó "Reciclatrón". La reparación de residuos y su clasificación se realizaron de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011. Para la ejecución del programa se utilizaron metodologías participativas para formar equipos de trabajo. El acopio de residuos ha tenido una tendencia creciente durante las tres ediciones en que se ha realizado y se estima, de acuerdo a la tendencia de los resultados, que de no realizar acciones orientadas a la reducción del consumo el crecimiento será exponencial. El programa ha servido al mismo tiempo como una oportunidad de fomento a la cultura de la prevención, el conocimiento y la concientización del problema ambiental que se originan los residuos electrónicos dentro y fuera de la comunidad Universitaria, cuando no son manejados adecuadamente, lo cual se discute también en el presente trabajo.

Palabras clave: E-waste, manejo de residuos sólidos, reciclaje de productos electrónicos.

1. Introducción

La evolución tecnológica propiciada por los países industrializados, genera una oferta de consumo extraordinaria a escala global. En consecuencia, los problemas ambientales asociados con el crecimiento de la población y del consumo crecen de forma acelerada. La sociedad actual acelera la frecuencia de remplazo de los equipos electrónicos y eléctricos con la finalidad de facilitar sus actividades [1]. La problemática ambiental causada por el manejo inadecuado de los residuos electrónicos debe ser atendida con seriedad desde diversas disciplinas. Por ejemplo, los residuos electrónicos provenientes de equipos de cómputo son la principal causa de la contaminación del suelo en el mundo, superando en sólo diez años a los demás agentes contaminantes que degradan el suelo. En la tabla 1 se muestran los componentes tóxicos asociados a los residuos electrónicos y sus efectos en la salud humana.

Tabla 1. Componentes de los residuos electrónicos y sus efectos en la salud¹.

Componentes	Elementos	Efectos en la salud
Circuitos impresos	Pb, Cd	Sistema nervioso, riñón e hígado
Tarjetas madre	Be	Pulmones y piel
Tubos de rayos	PbO ₂ , Ba,	Corazón, hígado y

catódicos (CRTs)	Cd	músculos
Interruptores y monitores de pantalla plana	Hg	Cerebro y piel
Baterías de computadora	Cd	Riñón e hígado
Capacitores y transformadores	PCB	Cáncer, sistema inmunológico, reproductivo y neurológico
Chips, cables, baterías y cojinetes antifricción	Sb	Piel, ojos, riñón, hígado, úlceras estomacales, daños pulmonares y cardíacos
Metalizado de piezas	Cr	Cáncer, sistema endocrino, sistema reproductivo, Ovotoxicidad
Monitores	P	Riñón, sistema óseo, corazón
Microprocesadores	As, Si	Piel, sistema nervioso, diabetes y cáncer
Discos duros	Al	Sistema óseo, metabolismo cerebro y toxicidad fetal
Toda la electrónica	Cu	Hígado
Placas de circuitos	Au, Ag	Piel, ojos, garganta, pulmones, riñón, hígado, sangre y cerebro
Placas de circuito impreso (plástico)	Br	Cáncer, cerebro y sistema reproductor
Cables	PVC	Sistema inmunológico
Cubiertas plásticas y metálicas	Br	Sistema endócrino



Estudios recientes sobre la generación global de e-waste estiman que para el 2018 serán generadas 50 millones de toneladas de estos residuos. La producción de e-waste actual y futura está máximo histórico debido a los crecientes volúmenes de equipos electrónicos en desuso [1-3].

Millones de toneladas de e-waste de los países desarrollados, son exportados como supuestas donaciones. En este sentido, México actúa como un vertedero electrónico, al recibir productos electrónicos provenientes de los EUA, el principal generador de residuos a nivel mundial. Anualmente en México se generan en promedio 350 mil toneladas de e-waste, de los cuales sólo el 10% se recicla, el 40% permanece almacenado en casas habitación, oficinas o bodegas y el 50% termina en rellenos sanitarios o tiraderos no controlados [4].

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR, 2015) cataloga a los e-waste como residuos de manejo especial (RME) y no como residuos peligrosos, delegando a los Estados la responsabilidad para su confinamiento a través de planes de manejo. Sólo 19 de los 32 estados cuentan con legislación vigente [5] el estado de Nayarit no figura en esa lista.

Por lo tanto, se deben implementar mecanismos para prevenir y mitigar los efectos negativos ocasionados por el manejo inadecuado de los residuos electrónicos, sus impactos al medio ambiente y los efectos en la salud humana.

En este sentido, el papel de las instituciones de educación superior, en su carácter de formadoras de los nuevos profesionistas, es fundamental y ha sido tomado con responsabilidad por diversas universidades en el país que han organizado actividades de recolección de residuos electrónicos, destacando la Universidad Autónoma Metropolitana que realiza jornadas permanentes de acopio de residuos electrónicos [6].

Otras instituciones como la Universidad Autónoma de Nuevo León, han destacado también por sus programas de manejo de residuos peligrosos, marcando un referente a nivel nacional como institución comprometida con el cuidado del ambiente [7].

En el presente trabajo se presentan los resultados del programa de recolección selectiva de residuos electrónicos y su potencial de reciclaje. Este programa denominado "Reciclatron" se implementó en la Universidad Autónoma de Nayarit con el objetivo de impulsar en la comunidad universitaria y más allá, mecanismos de colaboración conjunta y organizada para mejorar el medio ambiente mediante hacia la sostenibilidad y a la vez como una estrategia de recuperación y acopio de residuos con alto potencial de reciclaje.

2. Parte experimental

Zona geográfica de estudio: La Universidad Autónoma de Nayarit (UAN) cuya población en el campus es mayor a 12000 estudiantes. El campus universitario más grande de la UAN se ubica en la ciudad de Tepic, capital del estado de Nayarit, que cuenta con una población aproximada de 382,863 habitantes [8] lo que representa cerca del 40% de la población total del estado. La disposición final de los RSU en la ciudad, entre los que se incluyen los e-waste, es el vertedero el Iztete que se caracteriza por no tener mecanismos de control de residuos ni plantas de separación, reciclaje o tratamiento [9]. Por lo tanto, este sitio, representa un problema de contaminación local, de ahí de su importancia en este trabajo.

La metodología para llevar a cabo el programa Reciclatron se basa en metodologías participativas que se sustentan en la teoría de Stakeholders propuesta por Freeman [10] modificada por Herman Brouwer and Jim Woodhill para proyectos socio-ambientalesⁱⁱ y adaptada por nuestro grupo de investigación para el desarrollo de proyectos participativos.

La ejecución del programa es un trabajo logístico que se compone de cinco etapas: i) recolección, ii) caracterización, iii) cuantificación, iv) recuperación y reutilización, y v) comercialización; el cual se ha descrito de manera detallada en nuestro trabajo previo [11].

Para la etapa de caracterización se tomó como referencia a la normatividad vigente, OM-161-SEMARNAT-2011, la cual define a los residuos electrónicos como residuos de manejo especial en ocho tipos de componentes como se enumera:

- 1.- Computadoras personales de escritorio y sus accesorios
- 2.- Computadoras personales portátiles y sus accesorios
- 3.- Teléfonos celulares
- 4.- Monitores con tubos de rayos
- 5.- Pantallas de cristal líquido y plasma
- 6.- Reproductores de audio y video portátiles
- 7.- Cables para equipos electrónicos
- 8.- Impresoras, fotocopiadoras y multifuncionales

Para la evaluación del potencial de reciclaje y con la finalidad de estimar las proyecciones futuras, una vez clasificados y cuantificados los equipos acopiados, fueron pesados, posteriormente, separados mecánicamente y una vez clasificadas sus partes se procede al pesaje de cada una, con la finalidad de estimar el porcentaje en peso de cada componente. De esta manera, se cuenta con una línea base para estimar el potencial de reciclaje de productos y su valor en el mercado local.

3. Resultados y discusión

El programa Reciclatron ha tenido una tendencia creciente en cuanto al acopio de residuos electrónicos, lo que indica una participación cada vez más activa por



parte de la comunidad. En la figura 1 se muestra la cantidad de residuos recolectados en cada una de las tres ediciones que se ha llevado a cabo el programa. Durante la primera edición se acopió un total de 605,87 kg, para la segunda edición la cifra llegó a los 2459.08 kg, y en la tercera edición el total recolectado alcanzó los 6345.55; de acuerdo a la tendencia de estos datos y ajustando a una ecuación de crecimiento exponencial con la cual los valores correlacionaron con un valor de 0.996; se espera que para la cuarta edición el total de residuos acopiados superará las 20 toneladas.

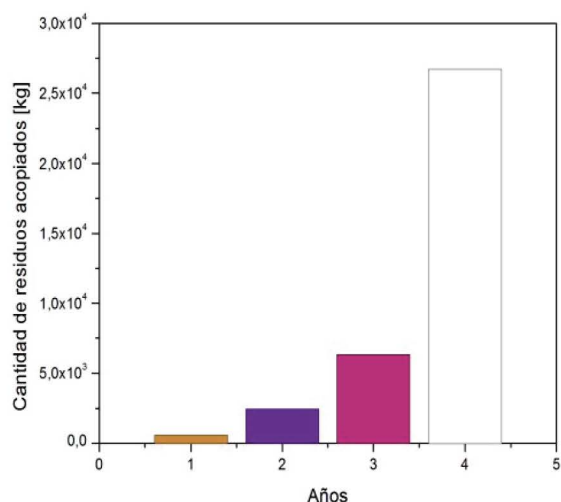


Figura 1. Cantidad de residuos electrónicos recolectados en cada una de las tres ediciones del Reciclatrón y proyección para la cuarta edición.

Este comportamiento exponencial se puede asociar a la rapidez con que avanza la industria electrónica y de manufactura y a la frecuencia de uso y reemplazo de los consumidores y es característico de los países desarrollados [12]. Sin embargo, países como el nuestro adoptan las medidas impuestas por los países desarrollados imitando sus modelos de crecimiento, por lo cual es de suma importancia a nivel mundial establecer estrategias y promover políticas orientadas a la reducción en el consumo [13].

Entre los residuos electrónicos recolectados durante la jornada de acopio destacaron las computadoras de escritorio y laptops, multifuncionales, monitores y televisores, teléfonos celulares, reproductores de audio y video. Una vez clasificados y cuantificados los equipos, se separaron mecánicamente para caracterizar físicamente las partes y cuantificar los materiales que los componen.

En la figura 2 se muestra el desglose de materiales de componen a los equipos recolectados que fueron acopiados con mayor frecuencia: a) computadoras de escritorio, b) laptops, c) teléfonos móviles, d) televisores y monitores, e) multifuncionales y copadoras, y f) reproductores de audio y video.

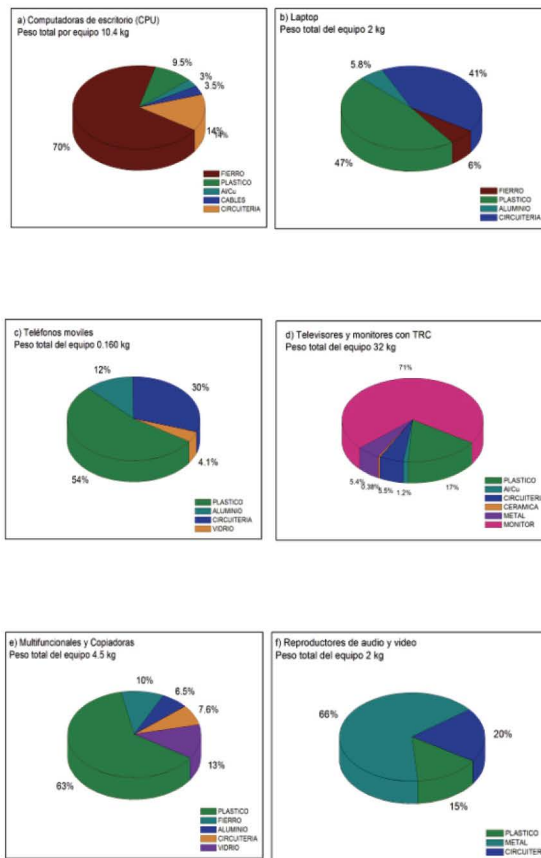


Figura 2. Materiales recuperados con potencial de reciclaje expresados provenientes de los residuos electrónicos de: a) computadoras de escritorio, b) laptops, c) teléfonos móviles, d) televisores y monitores, e) multifuncionales y copadoras, y f) reproductores de audio y video.

En las figuras se expresa el porcentaje de cada material con respecto al peso total del equipo, con la finalidad de tener una media del porcentaje en peso para estimar el potencial de reciclaje de los residuos electrónicos en ediciones futuras del programa.

Se observó, además, que se pueden recuperar y reutilizar componentes electrónicos, tales como las tarjetas madre las cuales tiene alto valor comercial en el mercado del reciclaje, metales como el cobre y aluminio y algunos tipos de cables son significativos ya que se pueden obtener ingresos por su comercialización.

Cabe destacar que algunos de los materiales recuperados han sido de utilidad en el desarrollo de prácticas de laboratorio del área de ingeniería propiciando entre los alumnos el desarrollo de habilidades teóricas y prácticas a través de la experiencia adquirida en el proceso de desmontaje y desarmado de los equipos. Así, este tipo de programas genera experiencias integradoras para los estudiantes que participan en el proceso y fomenta una cultura de cuidado ambiental dentro y fuera del campus universitario.

En la figura 3 se muestran imágenes de participación de estudiantes y las actividades que realizan durante la ejecución del programa.



Figura 3. Imágenes del programa que muestran los detalles de la participación de estudiantes en las actividades recolección, clasificación, cuantificación, separación mecánica de componentes de los residuos electrónicos.

El reciclaje de materiales proveniente de los residuos electrónicos, su reparación, re-uso y la actualización de equipo son opciones que combinadas pueden contribuir en la reducción de materiales nocivos al medio ambiente; sin embargo, comúnmente resulta costoso implementarlas pues requieren de una inversión económica significativa, del conocimiento de los procesos a implementar, así como, los riesgos que esto implica; además se requiere de la voluntad política y el compromiso social de los actores involucrados [14].

4. Conclusiones

El manejo adecuado de los residuos electrónicos es una prioridad global que debe ser atendida desde la transversalidad; por tanto, en la ciudad de Tepic se deben desarrollar e implementar planes de manejo para estos residuos, así como implementar estrategias encaminadas a la recolección, caracterización, cuantificación, recuperación y reutilización de materiales, además de la comercialización de los componentes con potencial de reciclaje.

La iniciativa de la Universidad Autónoma de Nayarit de contar con un programa de separación selectiva de residuos electrónicos, ha sido, a su vez, una oportunidad para la comunidad universitaria y de la ciudad de Tepic para implementar estrategias enfocadas en mejorar el medio ambiente.

La metodología utilizada en este trabajo, puede ser adoptada por las instituciones de educación superior del país y contribuir a reducir los impactos de la

contaminación causada por los residuos electrónicos al medio ambiente, obteniendo además beneficios económicos y académicos.

5. Agradecimientos

Las autoras agradecen la participación de estudiantes de ingeniería de la UAN por su apoyo logístico en la realización del programa Reciclatrón. A las autoridades Universitarias y al Ayuntamiento de la Ciudad de Tepic por las facilidades otorgadas para la recolección y disposición final de televisores y monitores acopiados.

6. Referencias

- [1] Cárdenas B., Figueroa J. y Fernández E. 2014. Método para la caracterización socio-económica de la generación de residuos electrónicos. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. Vol.1, N.6. pp. 131-144.
- [2] Sthiannopkao S. and Wong MH. 2013. Handling e-waste in developed and developing countries: Initiatives, practices, and consequences. *Science of the Total Environment*. (463), pp. 1147-1153.
- [3] Iqbal M., Breivik K., Syed J. H., Malik R. N., Li J., Zhang G., & Jones K. C. 2015. Emerging issue of e-waste in Pakistan: A review of status, research needs and data gaps. *Environmental Pollution*, (207), pp. 308-318.
- [4] Sánchez M., Bonales J., Espinoza R. 2008. *Contaminación del medio ambiente en la región oriente del estado de Michoacán por desechos electrónicos de equipo de cómputo obsoleto*. *Mundo Siglo XXI*. México. Núm. 13: 61-71.
- [5] Rojas L., Gavilán A., Alcántara V., Cano F. 2012. *Los Residuos Electrónicos en México y el Mundo*. SEMARNAT-INECC. México, pp. 150, 2012.
- [6] Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México. 2016. Reciclatrón CDMX: Jornada de acopio de residuos electrónicos y eléctricos. SEDEMA-Dirección de Educación Ambiental. www.sedema.df.gob.mx.
- [7] Evangelina Ramírez Lara, Javier Rivera De la Rosa, Aldo Isaac Ramírez Castillo, Felipe de Jesús Cerino-Córdova, Ulrico Javier López Chukena, Sergio S. Fernández Delgadillo, Pasiano Rivas-García. 2017. A comprehensive hazardous waste management program in a Chemistry School at a Mexican university. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1486-1491.
- [8] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Delimitación de Zonas Metropolitanas de México INEGI. 2010.
- [9] Saldaña, D. C. E., Hernández, R. I. P., Messina, F. S., Pérez, P. J. A. 2013. Caracterización física de los residuos sólidos urbanos y el valor agregado de los materiales recuperables en el vertedero el Iztete, Tepic-Nayarit, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 29 (3), 25-32.
- [10] Freeman, R.E., Harrison, J.S., Wicks, A.C., Parmar, B.L., de Colle, S., 2010. *Stakeholder Theory – The State of the Art*. Cambridge University Press, New York.
- [11] Saldaña, C. E. Messina, S. Rodriguez-Lascano, Y. García, M. & Ulloa, H. 2016. E-waste in Mexico: a case study of Tepic, Nayarit, en *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 202: 205-218. Doi: 10.2495/WM160191.

- [12] Menikpura, S.N.M. Santo, A., Hotta, Y. 2014. Assessing the climate co-benefits from Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) recycling in Japan. *Journal of Cleaner Production*. (17), pp. 183–190.
- [13] Song, Q., Li, J., Zeng, X. 2015. Minimizing the increasing solid waste through zero waste strategy. *Journal of Cleaner Production*. (104), pp. 199–210.
- [14] Liu, X., Tanaka, M., Matsui, Y. 2009. Economic evaluation of optional recycling processes for waste electronic home appliances. *Journal of Cleaner Production*. (17), pp. 53–60.
-