

C I E N C I A
 launion.com.mx
 @uniondemorelos

BASURA ELECTRÓNICA ¿POR

Evelyn B. Díaz-Cruz, Dulce K. Becerra-Paniagua, Araceli Hernández-Granados, Karla Cedano-Vilavicencio y Horacio Martínez

Evelyn es Ingeniera Química del Instituto Tecnológico de Oaxaca (ITO) con maestría en Ciencia e Ingeniería de Materiales del CFATA-UNAM. Actualmente trabaja en la obtención de puntos cuánticos de sulfuros metálicos para aplicaciones optoelectrónicas, en el IER-UNAM. Dulce es Ingeniera Química del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG) con maestría en Materiales y Sistemas Energéticos Renovables del IIER, UNICACH en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Actualmente estudia el último año del doctorado en el IER-UNAM, donde trabaja con materiales relacionados con grafeno para aplicaciones energéticas y de sustentabilidad. Araceli es Ingeniera Industrial de la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería (FCQel) con maestría y doctorado del CIICAp-UAEM. Actualmente realiza su posdoctorado en el ICF-UNAM. Karla es Ingeniera en Sistemas Electrónicos con maestría en Ciencias Computacionales del Tecnológico de Monterrey; es doctora en Ingeniería y Ciencias Aplicadas con especialidad en Materiales, por el CIICAp-UAEM. Actualmente es Secretaria de Gestión Tecnológica y Vinculación en el IER-UNAM. Horacio Martínez Valencia estudió la licenciatura, maestría y doctorado en Física en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Es miembro activo de la Academia de Ciencias de Morelos.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

¿Alguna vez te has preguntado cuántos celulares, computadoras y pantallas has utilizado a lo largo de tu vida?, ¿En dónde han terminado?, ¿Qué impacto han generado en el ambiente? De acuerdo con datos

emitidos por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), en México se generan aproximadamente 29,000 toneladas de basura electrónica cada mes y solo el 14% es reciclado. Conocemos como residuos de aparatos eléctricos o electrónicos (RAEE) o WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment por sus siglas en inglés), a cualquier aparato eléctrico o electrónico cuyo periodo de vida útil ha concluido. Un manejo inadecuado de estos puede ocasionar daños graves al medio ambiente y a la salud de los seres humanos. Los aparatos eléctricos y/o electrónicos (AEE) son, por definición, los productos usados en las casas o negocios, que contienen circuitos y/o componentes eléctricos o que para su funcionamiento necesitan corriente eléctrica, campos electromagnéticos o baterías. Los RAEE se generan cuando los usuarios han descartado el uso de sus AEE. Esto se puede deber a las constantes actualizaciones o la llamada "obsolescencia programada", así como también a la creciente ola de nuevos productos. Por ejemplo, en 1992 la vida útil (EoL, End of Life, en inglés) de las computadoras personales (PC's) era en promedio de 4.5 años, ésta decreció a 3 años en 1999 y pasó a ser de sólo 2 años en el año 2005. Entre los RAEE más generados se encuentran teléfonos celulares, computadoras, impresoras, televisores, tabletas, paneles fotovoltaicos, refrigeradores, entre otros.

En las últimas décadas como resultado de la revolución tecnológica, la producción de AEE se ha incrementado rápidamente, asimismo, se ha acelerado un crecimiento significativo de los RAEE. El deseo de los consumidores por adquirir el modelo más reciente en materia tecnológica sobre todo en el teléfonos celulares y laptops ha contribuido notablemente a incrementar un problema de gran impacto ambiental,

que pocos conocemos. Datos recientes informan que anualmente en el mundo se generan de 20 a 50 millones de toneladas aproximadamente de estos residuos. Tan solo en el año 2016 se generaron 44.7 millones de toneladas métricas (Mt) de desperdicios ó 6.1 kilogramos por habitante (kg/hab), lo cual equivale al peso de 9 pirámides de Giza ó 4500 torres Eiffel, y se estima que esta cifra pueda aumentar a 52.2 Mt para el 2021, de acuerdo con los datos estadísticos mostrados en las Figuras 1 y 2.

Tipos de residuos electrónicos

Los RAEE contienen una combinación de materiales únicos para hacer posible el funcionamiento y el diseño que el consumidor espera. Entre los tipos de residuos que han llamado más la atención por su amplia popularidad de uso y desecho, se encuentran los paneles fotovoltaicos, pantallas y monitores de CRT, LCD y LED, tablets, celulares, circuitos integrados y discos duros y de estado sólido. Los componentes de los RAEE se han clasificado en cinco categorías principalmente, las cuales son: i) metales-férreos, ii) plásticos, iii) metales no férreos, iv) vidrio y v) otros materiales. Los metales-férreos como el hierro y el acero son los materiales más comunes de encontrarse en los RAEE y ambos pueden contribuir al 50% del peso total de los desechos, el segundo grupo que más peso aporta es el plástico, constituye aproximadamente el 21%, el tercer grupo incluye a los metales preciosos, y representa un 13%, finalmente el 16 % restante es vidrio y otros materiales. Además, se han encontrado más de 1000 sustancias tóxicas en los RAEE. Entre ellos se encuentran los retardadores de llamas bromados (BFR, brominated flame retardants, en inglés). Así también algunos elementos tóxicos como: bario, berilio, cadmio, cobalto, cobre, cromo, hierro, plomo, litio, mercurio, níquel y plata.

¿Qué hay en mi smartphone?

La primera llamada realizada con teléfonos celulares se dio en el año 1973 entre John Mitchell y Martin Cooper, de la compañía Motorola. Estos prototipos de teléfonos celulares pesaban alrededor de 2 Kg, desde entonces estos dispositivos han evolucionado sin parar y al mismo tiempo han generado una revolución en la sociedad y en la forma de comunicación como ningún otro invento. A inicios de la década de los 90's a estos teléfonos se les dio el nombre de smartphones o teléfonos inteligentes debido a que con tamaños reducidos y unos

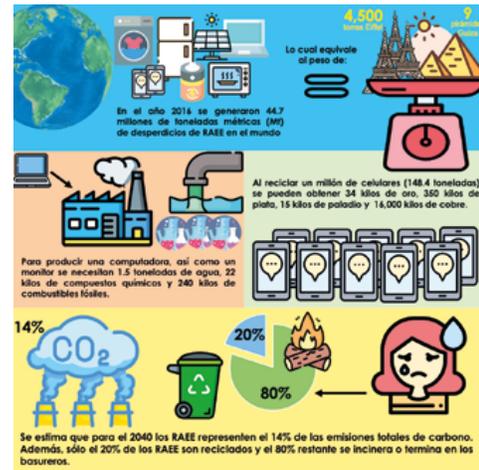
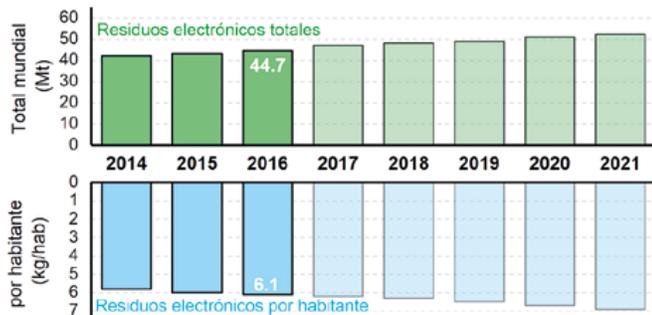


FIGURA 2. INFOGRAFÍA de los RAEE. Imágenes tomadas de <https://www.flaticon.com/>

cientos de gramos de componentes podían conectarse a redes y realizar operaciones similares a las computadoras personales. La revista Time reconoció al smartphone como el gadget más influyente de todos los tiempos. Sin embargo, ¿sabemos realmente lo que estamos cargando en nuestras manos al poseer un teléfono celular?, quizá muy pocos puedan responder a esta interrogante. Bueno, para poder ayudar a contestar esta pregunta y darnos mayor idea de la importancia de este dispositivo, es esencial mencionar que un smartphone promedio cuenta con más tecnología y potencia que todos los ordenadores a bordo del Apolo XI (la primera nave tripulada que llegó a la luna). Un smartphone está formado por tan sólo 30 elementos químicos de la tabla periódica y 17 de ellos son escasos. La cubierta de un teléfono está hecha de plástico que proviene de actividades relacionadas con los hidrocarburos, compuestos por carbono (C) e hidrógeno (H), metal, y/o aleaciones de magnesio (Mg). También contiene bromo (Br), como retardante del fuego, y níquel (Ni) que reduce la interferencia electromagnética. La mayoría de los teléfonos utilizan baterías de litio (Li), compuestas por óxido de litio (Li₂O), cobalto (Co) y grafito (C) dentro de una cubierta de aluminio (Al). Los componentes electrónicos están hechos de silicio (Si), fósforo (P), galio (Ga), antimonio (Sb), arsénico (As), plomo (Pb) y estaño (Sn). Las conexiones eléctricas están hechas de cobre (Cu), plata (Ag), tantalio (Ta) y oro (Au). Y, aunque a primera instancia pensemos que el Au es lo más valioso en nuestros celulares no lo es, puesto que también se encuentran elementos más interesantes, los denominados tierras raras como: praseodimio (Pr), neodimio (Nd) y gadolinio (Gd), los cuales se utilizan en los imanes de los micrófonos y los parlantes. Otros como el terbio (Tb), el disprosio (Dy) y el europio (Eu) son cruciales para las unidades de vibración y para producir los colores en la pantalla. Todos estos existen en relativa abundancia en la corteza terrestre, sin embargo, se encuentran dispersos en ella, complicando significativamente su extracción y, por tanto, son más valiosos que el oro. Los elementos presentes en nuestros smartphones preocupan cada vez más, debido a su escasez, en unos casos, o cuando abundan, su consumo indiscriminado debido a la creciente demanda puede llegar a superar su abundancia. Por ejemplo, el Indio (In) que se usa en las pantallas y en fibra óptica, aparentemente se requiere poco, solo 0.02 g en un smartphone. Sin embargo, con la demanda actual por pantallas táctiles y la gran ineficiencia del proceso de reciclaje de este elemento, se estima que agotemos las reservas mundiales de Indio en la siguiente década. Otro elemento importante es el fósforo (P) el cual es esencial para la vida, necesario para la formación de los dientes y los huesos, pero en forma de mineral cada vez es más escaso y como su uso se ha incrementado masivamente en móviles y fertilizantes, las reservas van agotándose cada vez más. Es por



Nota: Los valores de 2017-2021 son estimaciones

FIGURA 1. GENERACIÓN mundial de residuos electrónicos. Fuente: Elaboración de autores con datos del estudio de "Observatorio mundial de los residuos electrónicos 2017", [Baldé, 2017].



ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: www.acmor.org.mx
 ¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: editorial@acmor.org.mx

Lecturas recomendadas

- Baldé, C.P., Forti V., Gray, V., Kuehr, R., Stegmann, P.: Observat 2017, Universidad de las Naciones Unidas (UNU), Unión Internacional Internacional de Residuos Sólidos (ISWA), Bonn/Ginebra/Viena. [https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Documents/GEM%](https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Documents/GEM%20)

¿QUÉ ES IMPORTANTE RECICLARLA?

ello por lo que cuando un smartphone ha llegado al fin de su vida útil y se convierte en RAEE, se pide la ayuda del usuario para que estos pueden ser destinados a los centros de reciclaje pertinentes, sus componentes se utilicen de nuevo en otros procesos de fabricación para evitar la contaminación y enfermedades procedentes del mal manejo de estos elementos (Figura 3).

Datos interesantes en cifras

En promedio, una computadora con monitor pesa 29.6 kg y se conforma generalmente de 43.7% de metal, 23.3% de plástico, 17.3% componentes electrónicos y 15.7% de vidrio. Para producir una computadora, así como un monitor se requiere de 1.5 toneladas de agua, 22 kilos de componentes y 240 kilos de combustibles fósiles, lo cual refleja en una pequeña escala todos los recursos químicos y energéticos que se consumen para la fabricación de estos dispositivos.

El 40% de la composición de los RAEE son metales de interés comercial, tales como cobre, plomo, estaño, plata, oro, platino y paladio. De estos, los metales preciosos poseen gran interés por su alto precio en el mercado.

Además, los RAEE pueden contener de 25 a 250 veces más oro comparado con la cantidad encontrada en los minerales de los que se extraen estos metales en la actividad minera. Asimismo, el costo de extraer estos metales a partir de minerales es 13 veces más alto en yacimientos naturales que obtenerlos de RAEE. Al reciclar un millón de celulares (148.4 toneladas) se pueden obtener 34 kilos de oro, 350 kilos de plata, 15 kilos de paladio y 16,000 kilos de cobre.

Se estima que 10,000 toneladas de RAEE pueden crear los siguientes trabajos: 1 de incineración, 6 en rellenos sanitarios, 36 en centros de reciclaje y 296 en el reciclaje de computadoras, por lo menos.

El valor calculado de los RAEE con un tratamiento de reciclaje adecuado supera los 62,500,000,000 de dólares anuales, lo cual supera al producto interno bruto (PIB) de algunos países, como Luxemburgo o El Salvador.

Actualmente 67 países poseen una legislación que busca el manejo adecuado de los RAEE.

De acuerdo con la Agencia de protección ambiental (EPA, Environmental Protection Agency, en inglés) en EUA a diario se desechan 416,000 celulares y 142,000 computadoras y cada año anualmente se producen 1,000,000,000 de celulares y 300 millones de computadoras.

Riesgos a la salud y al ambiente

Existen investigaciones que han comprobado la enorme problemática que conlleva el desecho de electrónicos en rellenos sanitarios sin los procedimientos mínimos necesarios para su manejo. Como hemos establecido anteriormente, estos se componen de elementos tóxicos que dañan al ambiente y al ser humano. Los RAEE impactan de manera directa a las personas que trabajan o viven cerca de los sitios de reciclaje o separación de éstos. La ingesta de estos contaminantes puede ocurrir por inhalación, absorción dérmica o digestiva de vapores o partículas de compuestos tóxicos, producidos por incineración o cuando los contaminantes penetran en el suelo y llegan a filtrarse a los mantos freáticos. La población infantil y las mujeres embarazadas son las personas más vulnerables a este tipo

de sustancias, ya que afectan el desarrollo de los infantes y son causa de diversas enfermedades. Por ejemplo, el cadmio es un elemento presente en los tableros de circuitos y ciertas baterías recargables, respirar altos niveles de cadmio produce graves lesiones en los pulmones, irritación en el estómago e induce vómitos, diarrea y daños irreversibles en los riñones. Otro elemento como el mercurio que se usa generalmente en termómetros, sensores, equipo médico, lámparas, teléfonos celulares, baterías, tubos fluorescentes, algunas baterías e interruptores de luz, puede producir daños al cerebro e hígado, tos, dolores en el pecho, náusea, vómito, diarrea, aumentos en la presión arterial o en el ritmo cardíaco, erupciones de piel e irritación de los ojos. El litio se encuentra principalmente en baterías, que están conformadas por plomo, cromo, cobalto, cobre, níquel y talio. Así que pueden provocar efectos adversos de respiración, pulmonares y neurológicos.

Acciones

La Organización Mundial de las Naciones Unidas (ONU) en el año 2015 presentó la agenda de desarrollo sostenible e identificó 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y 169 metas para acabar con la pobreza, proteger al planeta y garantizar la prosperidad de todos en los próximos años. Al incrementarse los niveles de RAEE en el mundo estos impactan directamente de manera negativa en el ambiente, la salud pública y, por tanto, contravienen los ODS. Se ha identificado que el impacto negativo en los ODS en: Salud y bienestar (ODS 3), agua limpia y saneamiento (ODS 6), trabajo decente y crecimiento económico (ODS 8), ciudades y comunidades sostenibles (ODS 11), producción y consumo responsables (ODS 12) y vida marina (ODS 14).

Se estima que sólo el 20% de los RAEE son recuperados y reciclados apropiadamente. Para un reciclaje adecuado de los RAEE, lo primero es separar los componentes de los AEE, para poder tratar cada residuo como mejor convenga, evitando daños a la salud y/o ambiente. Actualmente, los métodos más utilizados para separar los metales de desechos electrónicos son aquellos que implican la calcinación (pirometalurgia) y la lixiviación con ácidos concentrados (hidrometalurgia). Sin embargo, los métodos mencionados presentan desventajas. El primero produce grandes cantidades de gases tóxicos como el óxido de nitrógeno, y requiere equipos especiales para manejar altas temperaturas. El segundo implica un consumo excesivo de ácidos concentrados. Debido a la compleja composición de metales en los desechos electrónicos, más del 80% del valor total de recuperación comprende metales preciosos (Ag, Au y Pt) y más del 95% del total de metales son básicos (Cu, Sn, Hg, Pb). Como parte de las acciones a tomar de diversos países y regiones del mundo se han identificado y evaluado las tendencias globales referentes a la cantidad y composición de los RAEE, se ha comenzado a regular y prevenir los RAEE, así como también se han planteado



FIGURA 4. DIAGRAMA de flujo de los RAEE

nuevas metodologías para el tratamiento, prevención y regulación de los RAEE en el futuro. Para lograr una reducción y reciclaje de los RAEE es importante brindar información a los usuarios sobre qué hacer con su basura eléctrica y electrónica, a dónde deben llevarla y por qué es importante hacerlo. En la Figura 4, se presenta un diagrama de flujo sobre el seguimiento que los usuarios de AEE pueden realizar cuando quieran deshacerse de sus dispositivos, la finalidad es que los RAEE no estén almacenados en los hogares, ni terminen en rellenos sanitarios, sino reciclarlos de manera adecuada para no dañar al ambiente ni a la salud. Los RAEE representan el 2% de los desechos sólidos del mundo, pero pueden llegar a ser el 70% de los residuos peligrosos que se encuentran en los rellenos. Se estima que para el 2040 los RAEE representen el 14% de las emisiones totales de carbono. Además, sólo el 20% de los RAEE son reciclados y el 80% restante se incinera o termina en los basureros.

RAEE en Morelos

El pasado diciembre de 2019 se llevó a cabo la campaña "Reciclatón" en Cuernavaca, Morelos, organizada por el Ayuntamiento de Cuernavaca a través de la Secretaría de Servicios Públicos y Desarrollo Sustentable del municipio, que tiene la finalidad de recolectar basura electrónica o tecnológica que produzca sustancias tóxicas y que puedan afectar la salud de la ciudadanía. Se recolectaron más de 15 mil kilos de aparatos electrónicos que estaban descompuestos, discontinuados, en desuso o rotos. Entre ellos se encontraban: computadoras, celulares, hornos de microondas, cargadores, estéreos, tabletas electrónicas, televisores y cafeteras. Esta basura electrónica se entregó a una empresa que colaboró con el Ayuntamiento, la cual se encargará de darle un segundo uso a los materiales, además de darles una disposición final adecuada para no contaminar el ambiente.

¿Dónde llevar tu basura electrónica en Morelos?

Si queremos deshacernos de nuestros aparatos electrónicos la mejor opción es pensar en reciclarlos y llevarlos a un centro

de acopio donde una empresa especializada se encargará de darles un nuevo uso. Comparado con otros estados, Morelos aún cuenta con pocas empresas y/o asociaciones dedicadas al reciclaje de basura electrónica y pocos centros de acopio. Entre ellas se encuentran "Nosotros Reciclamos AC", sus centros de acopio se localizan en: Centro de Acopio Domingo Diez (Av. Domingo Diez 1462, Col. San Cristóbal), Centro de Acopio Lomas de Ahuatlán (Calle las Ánimas sin número, junto a SAPAC), Centro de Acopio Loma Verde (Calle Primavera, esq. Zentote, Col. Loma Verde), Centro de Acopio Sta. María (Calle Vicente Guerrero 207, Col. Sta. María Ahuacatitlán) y por último Centro de Acopio Tetela (Calle de la Cruz sin número, Col. Tetela del Monte), todas estas en Cuernavaca. Se hace un hincapié a todas las personas de las importancias de hacer conciencia y difundir a tanta gente como sea posible el mensaje sobre la necesidad de participar en este tipo de campañas y acudir a centros de acopio y así, poder deshacernos de una forma adecuada de nuestros aparatos electrónicos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dra. Hailin Hu del IER-UNAM por su apoyo en los laboratorios de Celdas Híbridas 204. A Barcelona Activa-innoBadora por el curso de capacitación de emprendimiento en Barcelona, España. A CONACYT por la beca de doctorado de Dulce Becerra Paniagua. Y a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) por la beca postdoctoral otorgada a Araceli Hernández Granados.

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.



FIGURA 3. INFOGRAFÍA importancia del reciclado de celulares. Imágenes tomadas de <https://www.flaticon.com/>

- Juan Diego Soler, El celular, toda una mina en la palma de la mano, EL TIEMPO www.eltiempo.com/vida/ciencia/de-que-elementos-estan-hechos-los-celulares-0
- Rahmani M, Nabizadeh R, Yaghmaeian K., Hossein Mahvi A., Yunesian M. (2014). "Estimation of waste from computers and mobile phones in Iran". Resources, Conservation and Recycling, 87, 21-29.
- Tuncuk, A., Stazi, V., Akcil, A., Yazici, E., & Deveci, H. (2012). "Aqueous metal recovery techniques from e-scrap: Hydrometallurgy in recycling". Minerals Engineering, 25(1), 28-37.