



SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



SADER
SECRETARÍA DE AGRICULTURA
Y DESARROLLO RURAL



SENASICA
SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD,
INOCUIDAD Y CALIDAD
AGROALIMENTARIA



Al servicio
de las personas
y las naciones

INVENTARIO DE GENERACIÓN DE RESIDUOS ELECTRÓNICOS EN MÉXICO

ESCALA NACIONAL Y ESTATAL PARA JALISCO,
BAJA CALIFORNIA Y CIUDAD DE MÉXICO

[AÑO BASE 2015]



RESUMEN EJECUTIVO EXTENDIDO



residuoscop
manejo ambientalmente adecuado

El presente documento fue desarrollado para la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), con el cofinanciamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por sus siglas en inglés), a través de la consultoría *“Desarrollo del inventario de generación de residuos electrónicos en México, a escala nacional y estatal, así como los inventarios detallados para los estados de Jalisco, Baja California y Ciudad de México; calcular el balance de flujo de materia por categoría de producto para el volumen de residuos electrónicos generados; y elaborar un análisis prospectivo Baja California y Ciudad de México”* realizado por ADHOC Consultores Asociados, S.C.

Si desea más información sobre ésta y otras publicaciones del proyecto “Manejo Ambientalmente Adecuado de Residuos con Contaminantes Orgánicos Persistentes” (ResiduosCOP), diríjase a:

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental
Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas
Ejército Nacional 223, Piso 15, ala A
Colonia Anáhuac, Delegación Miguel Hidalgo
C.P. 11320, Ciudad de México, México.
Tel. +52(55) 5624 34 00
www.residuoscop.org

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO

Montes Urales 440, Col. Lomas de Chapultepec,
Delegación Miguel Hidalgo
C.P. 11000, Ciudad de México, México.
Tel. +52(55) 4000 9701
http://www.mx.undp.org/content/mexico/es/home/operations/projects/environment_and_energy/e-waste-cops.html

Las opiniones, análisis y recomendaciones aquí expresadas, no reflejan necesariamente las opiniones del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, de su Junta Ejecutiva o de sus Estados miembros.

Citar como:

SEMARNAT, 2017. *Inventario de generación de residuos electrónicos en México. Escala nacional y estatal para Jalisco, Baja California, y Ciudad de México. Resumen ejecutivo extendido.* Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Proyecto #92723 “Manejo Ambientalmente Adecuado de Residuos con Contaminantes Orgánicos Persistentes” (ResiduosCOP). México.

CRÉDITOS

SEMARNAT

Rafael Pacchiano Alamán

Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Martha Garcíarivas Palmeros

Subsecretaria de Gestión para la Protección Ambiental

César Murillo Juárez

*Director General de Gestión Integral de
Materiales y Actividades Riesgosas*

PNUD

Antonio Molpeceres

*Coordinador Residente del Sistema de Naciones Unidas en
México y Representante del PNUD en México*

Katyna Argueta

Directora de País del PNUD en México

Edgar González

Director del Programa de Desarrollo Sustentable

Lucrecia Almaraz

Gerente de Desarrollo Sustentable

Adhoc Consultores Asociados S.C.

Erendira Corral Zavala

Jefa de Proyecto

Aldo Piceno Román

Profesional 1

Isael Fierros González

Profesional 2

Unidad Coordinadora de Proyecto:

Erick Felipe Jiménez Quiroz

Coordinador del Proyecto

Gabriela López Haro

Especialista Técnico

Mónica Jacqueline Hernández Jiménez

Asistente Técnico

Fátima López Solana

Especialista en Monitoreo y Evaluación

Guillermo Fuentes Espejo

Especialista en Comunicaciones

Guillermo López Escobedo

Administrador del Proyecto

RESUMEN EJECUTIVO

La creciente demanda de aparatos eléctricos y electrónicos en México, trae consigo el aumento acelerado en la generación de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) con características específicas, entre ellas, la presencia de compuestos orgánicos persistentes (COP) en los materiales que los constituyen. Sin embargo, previo a establecer estrategias y tomar de decisiones para su manejo, se requiere estimar la cantidad generada mediante la elaboración de un inventario actualizado de RAEE en el país.

Como parte de las actividades del Proyecto **“Manejo Ambientalmente Adecuado de Residuos con Compuestos Orgánicos Persistentes en México”** (ResiduosCOP), cuyo objetivo es minimizar los impactos a la salud y al ambiente mediante un manejo adecuado de químicos, así como reducir las emisiones y exposición a COP a través de la ejecución de operaciones de manejo de residuos electrónicos y plaguicidas; se desprende el Servicio de Consultoría “Desarrollar el inventario de generación de residuos electrónicos en México, a escala nacional y estatal, así como los inventarios detallados para los estados de Jalisco, Baja California y Ciudad de México; calcular el balance de flujo de materia por categoría de producto para el volumen de residuos electrónicos generados; y elaborar un análisis prospectivo”, que busca establecer una nueva base sobre la estimación de la generación de RAEE a nivel nacional y en los tres estados de interés.

Para el desarrollo del estudio, como primer gran actividad, se reunieron las experiencias tomadas de la literatura técnica y científica más actualizada, así como de los inventarios realizados en México, a nivel nacional y para algunas regiones y entidades federativas. De dicha literatura se revisan y analizan fundamentalmente los siguientes aspectos: los equipos electrónicos considerados, la metodología utilizada de manera conjunta con sus fuentes de información, los resultados obtenidos y los supuestos para su cálculo.

Adicional a la revisión de experiencias a nivel nacional, también se lleva a cabo la revisión y análisis de las metodologías utilizadas para el desarrollo de inventarios en otros países, además de las metodologías desarrolladas por agencias de Naciones Unidas como UNU y PNUMA. De igual manera que para México, de los documentos internacionales se analizan los dispositivos considerados, las ventajas o bondades de las metodologías, así como las limitaciones de éstas, el tipo y las herramientas de adquisición de datos y las fuentes de información.

A continuación, se enlistan los documentos, en el ámbito nacional, que se revisaron y analizaron:

- 1 Diagnóstico sobre la generación de basura electrónica en México, 2007.
- 2 Diagnóstico Regional sobre la generación de residuos electrónicos al final de su vida útil en la Región Noreste de México, 2008.
- 3 Estudio de análisis, evaluación y definición de estrategias de solución de la corriente de residuos generados por electrodomésticos al final de su vida útil. 2009.
- 4 Diagnóstico regional de residuos electrónicos en dos ciudades de la Frontera Norte de México: Tijuana y Ciudad Juárez, 2009.
- 5 Diagnóstico de la generación de residuos electrónicos en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), 2010.

De los cinco documentos mencionados, se analizaron las metodologías empleadas y los resultados obtenidos en los inventarios. Cuatro de ellos se enfocan a residuos electrónicos y sólo uno a residuos electrodomésticos.

El primer inventario de residuos electrónicos fue realizado en el año 2007, el cual abarcó la generación nacional y establece la referencia para los siguientes tres estudios regionales que se realizan, ya que identifica las regiones prioritarias del país donde se concentran la generación de residuos electrónicos, es decir, en el 2008 se elabora un inventario para la región noreste (Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas), en el 2009, en la región fronteriza (Baja California, Sonora, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas) y finalmente, en el 2010, en la ZMVM (Ciudad de México y Estado de México). En el caso del inventario de electrodomésticos, es el único realizado a la fecha y aún no es publicado oficialmente.

En la siguiente tabla se resumen los valores obtenidos en cada estudio de acuerdo a su metodología de estimación.

Tabla 1. Resultados en la generación de residuos electrónicos en los diagnósticos realizados en el país de acuerdo a su metodología de estimación

Método de estimación	Diagnóstico Nacional, 2007, (ton)	Diagnóstico Noreste, 2008 (ton)		Diagnóstico Frontera Norte, 2009, (ton)	Diagnóstico ZMVM, 2010, (ton)
Prod. + Imp. - Exp.	257,150	-		40,292	-
Equipos en uso (considera vida útil)	273,046	-		48,372	-
Equipos en uso (sin considerar vida útil)	-	31,588		-	62,282
Encuestas	-	Residuos dispuestos	49,249	31,777	112,490
		Futuros residuos	216,886		

En los cuatro inventarios de residuos electrónicos se utilizaron, en general, tres metodologías, “Equipos en uso”, “Producción + Importación legal - Exportación” y “Encuestas”. En el primer método se identifica una variación, es decir, se utiliza la vida útil para determinar el año de donde se obtiene el total de unidades consumidas o en uso de cada equipo electrónico.

Otra manera de comparar y analizar las estimaciones de inventarios desarrollados previamente, es mediante el cálculo de la generación per cápita. En la tabla siguiente se pueden observar los valores obtenidos para cada Estudio, se establecen rangos y de éstos, se obtiene un promedio, para considerar los resultados de todas las metodologías utilizadas en cada diagnóstico.

Tabla 2. Resultados de los inventarios de residuos electrónicos y de electrodomésticos del país

Estudio	Localidades	Número de habitantes	Residuos (ton)	Promedio de residuos estimados (ton)	Generación per cápita (kg/año habitante)
RESIDUOS ELECTRÓNICOS					
Diagnóstico sobre la generación de basura electrónica en México, (2007)	Nacional	103,263,388 (año 2005)	257,150 a 273,046	265,098	2.56
Diagnóstico Regional sobre la generación de residuos electrónicos al final de su vida útil en la Región Noreste de México (2008)	Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas	9,718,730 (año 2005)	31,588 a *49,248	40,418	4.16
Diagnóstico regional de residuos electrónicos en dos ciudades de la Frontera Norte de México: Tijuana y Ciudad Juárez (2009)	Baja California, Sonora, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas	14,958,060 (año 2005)	31,777 a 48,372	40,074	2.68
Diagnóstico de la generación de residuos electrónicos en la Zona Metropolitana del Valle de México (2010)	Ciudad de México y Estado de México	22,728,411 (año 2010)	**42,245 a 62,282	52,263	2.30
RESIDUOS ELECTRODOMÉSTICOS					
Estudio de análisis, evaluación y definición de estrategias de solución de la corriente de residuos generados por electrodomésticos al final de su vida útil (2009)	Nacional	107,550,697 (año 2009)	21,541 (año 2010)	22,549	0.20

Nota: *Se considera solamente el dato de residuos dispuestos (aquellos que las personas encuestadas recuerdan haber desechado). **Se refiere al 42% de 112,490 toneladas que según la encuesta, son enviados al camión de la basura.

Como se puede observar en la Tabla 2, los valores de generación per cápita de los inventarios regionales son similares al nacional, excepto el diagnóstico de la Región Noreste, este valor resulta ser alrededor de 1.5 veces mayor al resto; sin embargo, el dato debe analizarse considerando que el método de muestreo fue diferente a los otros, además de que los tres estados -Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas- representan el 65% de la población total de la región fronteriza del país.

En lo que respecta a la generación per cápita de residuos electrodomésticos con respecto a la de electrónicos, la diferencia es muy amplia, ésta puede explicarse porque en términos generales, la vida útil de los aparatos electrodomésticos, es mucho mayor; por lo cual la generación año con año no aumenta en la misma proporción que para los equipos electrónicos.

En el ámbito internacional se revisaron diversos documentos relacionados con el tema, sin embargo, hay uno que destacar "*E-waste Volumen I Inventory Assessment Manual, 2007*", el cual tiene como propósito ser una herramienta para la construcción y fortalecimiento de capacidades de los tomadores de decisiones para guiar y llevar de la mano la planeación, diseño e implementación de un inventario de residuos electrónicos en cualquier ciudad, región o país.

El manual o guía fue desarrollado como parte del Programa Noruego de Asistencia en Manejo Integral de Residuos Sólidos (*Norwegian Assistance on Integrated Solid Waste Management*) en colaboración con el Secretariado de la Convención de Basilea (*Secretariat of Basel Convention*) y con la Oficina de Consumo y Producción Sustentable (*Sustainable Consumption and Production*) de DTIE-UNEP.

El manual contiene la descripción de cuatro metodologías para realizar inventarios de residuos electrónicos, su aplicación, restricciones, ventajas, requerimientos y fuentes de información; sugiere cómo una metodología en particular, debe ser elegida en un contexto geográfico específico y en función de la información requerida para su aplicación. Estas metodologías son: *Approximate Formula*, *The Time Step Method*, *The Market Supply Method*, y una última que es una variación de la denominada *The Market Supply Method*.

Asimismo, la guía establece las siguientes actividades para elaborar cualquier inventario, adecuándolas al contexto específico de cada país:

- Establecer el área de estudio y definir los límites geográficos.
- Identificar los residuos electrónicos y determinar la cadena de valor de los mismos (corrientes de residuos, procesos de tratamiento o reciclaje, identificar elementos que permitan rastrear los residuos y su paso a través de los procesos).
- Estimar la generación de residuos electrónicos y definir la obsolescencia o vida útil de los residuos a través de fuentes de información secundarias.
- Verificar la tasa de obsolescencia o vida útil a través de los datos primarios.
- Identificar productos, subproductos y residuos.
- Establecer la economía de los residuos electrónicos e,
- Identificar y evaluar los impactos.

Una vez realizada la revisión y análisis de la literatura tanto nacional como internacional relacionada con el tema, así como los inventarios existentes en México, se procedió al desarrollo de la Guía Metodológica, la cual incluyó la identificación de los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) considerados para el inventario, estableciendo como año base el 2015, la cual se describe a continuación.

Para este estudio se parte del supuesto teórico de que el total de los residuos electrónicos existentes en un momento determinado, es la suma de los equipos desechados por los consumidores en ese año. Este supuesto es recurrente en inventarios anteriores. La diferencia principal de la presente propuesta, es la combinación de las tres etapas de aproximaciones sucesivas.

La **primera aproximación** se basa en los datos oficiales de importación, exportación y producción, pero a diferencia de otros estudios, incorpora la función de Weibull en relación al tiempo de uso, para obtener datos más precisos que los inventarios anteriores. Esto de acuerdo con las recomendaciones del e-Waste Monitor 2014.

La **segunda aproximación** parte de datos obtenidos de encuestas levantadas en tres estados de la República Mexicana. La escala de las entrevistas no tiene precedente a nivel nacional por lo cual se esperaba obtener información más representativa que estudios anteriores.

La **tercera aproximación** complementa los resultados generados en las primeras dos aproximaciones.

La Guía Metodológica para el desarrollo del inventario de RAEE comprende los siguientes pasos:

- 1 Revisar inventarios anteriores y literatura nacional e internacional relevante.
- 2 Establecer la línea base: el área de estudio y definir los límites geográficos.
- 3 Identificar los aparatos eléctricos y electrónicos que serán tomados en cuenta y la cadena de valor de los mismos.
- 4 Estimar la masa de la generación de RAEE a partir de fuentes oficiales y de pesos promedio por equipo y utilizar la función de Weibull para determinar la vida media.

a. Identificar y clasificar las fuentes oficiales de información para extraer datos de importación, exportación y producción nacional y con ello calcular el consumo aparente de los AEE seleccionados, principalmente de la base de datos de la balanza comercial de Secretaría de Economía, Censos Económicos del INEGI y otras muchas fuentes de información.

b. Calcular el consumo nacional aparente:
(consumo = producción + importación - exportación)

c. Identificar fuentes de información relevantes para determinar la masa por equipo y la vida media, para ser comparados con los resultados o utilizados como parámetros.

d. Identificar los parámetros de las distribuciones de Weibull por equipo y multiplicar dichos valores por aquellos adquiridos en los pasos anteriores.

e. Estimar la generación de residuos en unidades de masa, al convertir el consumo nacional aparente (utilizando pesos promedio por equipo)¹ y multiplicándolo por la función de Weibull (probabilidad de fallo).

f. Proyectar los resultados nacionales obtenidos, hacia un nivel estatal utilizando datos demográficos y socioeconómicos. Para este cálculo a nivel estatal, se interpoló el consumo nacional aparente a los tres estados piloto utilizando como referencia, el número de viviendas con televisor, registradas en cada entidad federativa y realizando los mismos pasos previamente descritos para el cálculo a nivel nacional.

5

Estimar la masa de generación de RAEE a través de la segunda aproximación, con los resultados de las encuestas en los tres estados de interés y utilizando datos empíricos sobre la tasa de desecho de los mismos, para extrapolar los datos a nivel nacional.

a. Determinar tamaño de muestra.

b. Realizar encuestas en hogares y sector privado.

c. Analizar y validar los datos.

d. Multiplicar los resultados obtenidos.

e. Extrapolar el número de dispositivos obtenidos de las encuestas a los hogares de cada estado piloto utilizando como referencia el número de viviendas con televisor. Para el caso de las encuestas a empresas, la extrapolación se realiza utilizando el número de unidades económicas de la industria manufacturera para cada estado.

1 Pesos promedio indicados por la UNU en el documento E-waste statistics 2015.

f. Se obtienen tres estimaciones de residuos de la segunda aproximación:

1.a) utilizando la extrapolación de dispositivos y la vida media (resultado de las encuestas),

1.b) con la extrapolación de dispositivos y sumando únicamente los equipos en desuso y,

2.a) utilizando los valores de la extrapolación del consumo aparente de la primera aproximación y la tasa de desecho de cada equipo (resultado de las encuestas).

Para calcular la generación a nivel nacional, se realiza una extrapolación de la cantidad de residuos estimada en los tres estados con base en el número de viviendas con televisor y en el caso de las empresas, se realiza el mismo análisis, pero utilizando las unidades económicas de la industria manufacturera a nivel nacional como referencia.

- 6 Evaluar y discutir los resultados obtenidos a partir de las primeras dos aproximaciones e incorporar las virtudes de ambas.
- 7 Incorporar ajustes relacionados al “Apagón Analógico”. También se buscaba establecer ajustes debido a las estimaciones de importación y exportación ilegal de los residuos eléctricos y electrónicos; sin embargo, no se encontró información oficial que permitiera incorporarlos de algún modo.
- 8 Estimación final del inventario de residuos eléctricos y electrónicos, tras discutir los resultados obtenidos en las dos metodologías anteriores y comparar críticamente los resultados correspondientes a cada una de ellas, se procedió a la realización de la tercera aproximación.
- 9 Desarrollar las proyecciones a futuro a partir de cálculos econométricos.

Se consideraron las siguientes categorías y dispositivos para realizar la estimación de los residuos eléctricos y electrónicos generados en México:

Categorías	Dispositivos
1- Equipos de regulación de temperatura	Aire acondicionado, congeladores, refrigeradores.
2- Pantallas	Monitores con tubos de rayos catódicos, televisores, pantallas de cristal líquido y plasma, laptops, notebooks, tabletas.
3- Equipos grandes	Lavadoras, secadoras, estufas, paneles fotovoltaicos, copiadoras, impresoras.
4- Equipos pequeños	Aspiradoras, cafeteras, hornos de microondas, tostadores, ventiladores, rasuradoras, básculas, calculadoras, consolas de videojuegos, radios, videocámaras, juguetes electrónicos, herramientas domésticas, instrumentos de monitoreo y control.
5- Equipo de telecomunicaciones e informática	Celulares, GPS, routers, PCs, teléfonos fijos, calculadoras.

A continuación, se presentan las principales estimaciones y resultados.

Primera aproximación:

Se estimó que en **2015** a nivel nacional se generaron un total de **1,097.03 kt de RAEE**, de los cuales, **204.26 kt (18.62%) corresponden a la generación en los estados piloto; donde la Ciudad de México, Jalisco y Baja California representaron 9.42%, 5.92% y 3.28% respectivamente.** Del total nacional, “equipos de regulación de temperatura” es la categoría con mayor representación dentro del total de RAEE generados (**43.8%**) con **480.81 kt** e incluye los congeladores, refrigeradores y aires acondicionados; mientras que el segundo sitio, lo tiene la categoría de “pantallas” (incluye los monitores con tubos de rayos catódicos, televisores y pantallas de cristal líquido y plasma), con **389.66 kt (35.5%)**.

Segunda aproximación:

Se obtuvieron tres valores diferentes considerando las tres estimaciones que se describieron previamente. En la tabla siguiente se resumen estos datos, sin embargo, el rango obtenido por esta segunda aproximación fue de **109.77 kt a 399.94 kt** para los estados piloto.

Tabla 3. Resultados de la segunda aproximación en los estados piloto y a nivel nacional

No.	Estimación utilizada	Baja California	CDMX	Jalisco	Estados piloto	Nacional
1.a	Extrapolación del total de dispositivos de 2015 y vida útil obtenidos de las encuestas.	56.36	111.46	76.57	244.39	1,310.52
1.b	Extrapolación del total de dispositivos de 2015 obtenido de las encuestas (equipos en desuso)	*19.38	57.79	32.60	109.77	817.83
2.a	Consumo aparente teórico acumulado en el periodo 2006-2015 y tasa de desecho (obtenido de las encuestas a hogares)	44.56	245.38	110.00	399.94	2,460.25

Tercera aproximación:

En términos generales, se observa que la generación potencial de residuos es, en todos los casos, mayor para la Ciudad de México, seguida de Jalisco y en tercer sitio el estado de Baja California. Con respecto a la estimación a nivel nacional, el rango de generación obtenido fue de **817.83 kt** a **2,460.25 kt**, mediante esta aproximación.

Una vez obtenidos estos valores, se realizó un análisis de ambas metodologías, identificándose las limitantes y ventajas de cada una, observándose también que, de la segunda aproximación, la estimación 1.a (**1,310.52 kt**) es el valor más cercano al resultado de la primera (**1,097.03 kt**). El total de **1,310.52 kt** se divide en **293.72 kt²** generadas por las empresas y **1,1016.79 kt** por los hogares, sin embargo, para este valor (las toneladas generadas por los hogares) se plantearon dos nuevos escenarios, además se incluyó en el total, un porcentaje adicional por la generación del sector público. Una vez incluidas estas consideraciones, se obtuvieron los resultados finales, es decir, uno por cada escenario; **1,247.78 kt** y **965.62 kt**.

En total se consideraron tres valores para la generación de RAEE a nivel nacional: a) **965 kt**, b) **1,097.03 kt** y c) **1,247.78 kt** y cuyo promedio es de **1,103.57 kt**. Con respecto a los tres estados piloto, también se incluyó la generación de residuos del sector público, de este modo, los resultados considerados como finales son: para la Ciudad de México de **117.55 kt**, para Jalisco de **82.07 kt** y **58.6 kt** para Baja California (ver Figura 1).

² El primer escenario, del total estimado para los hogares se restó el porcentaje de aparatos que reportaron los encuestados que mantienen almacenados y el segundo, además del porcentaje de almacenamiento el de donación.

Figura 1. Inventario de generación de residuos electrónicos en México, escala nacional y estatal para Jalisco, Baja California y Ciudad de México, año base 2015.



De este rango estimado a nivel nacional, se estima que existe **65.12% de material con potencial económico**, es decir, entre **622,980 y 812,592 toneladas**, mientras que el **5.99%** debe ser separado y manejado adecuadamente como un residuo peligroso debido a los componentes tóxicos que contiene, es decir, entre **57,315 y 74,760 toneladas** (ver Figura 2). El **28.89%** restante se refiere a materiales que actualmente no son aprovechados, tales como: cerámicos, fibras y otros tipos de plásticos no valorizables (ver Figura 3).

Figura 2. Materiales con potencial económico del total de RAEE a nivel nacional.



Finalmente, utilizando como base el promedio de generación a nivel nacional, es decir, **1,103.47 kt** y las tasas de crecimiento obtenidas del análisis prospectivo, se estima una generación de **1,211.58 kt para 2021**, mientras que en 2026 de **1,353.71 kt** (ver Figura 4).

Figura 3. Porcentaje de materiales de RAEE no aprovechados.



Figura 4. Estimación de generación de RAEE para 2021 y 2026.



Con respecto a la metodología para el modelo econométrico y la prospección a cinco y 10 años, en una primera etapa, se generaron las variables dependientes e independientes necesarias para la estimación econométrica.

En la segunda etapa se hicieron pruebas de pre-estimación econométrica, ello con la finalidad de garantizar que el modelo econométrico estimado fue el adecuado y que los resultados son válidos conforme a la teoría económica y la estadística. Entre las pruebas que se hicieron están las de independencia de las variables explicativas, varianza constante, normalidad de los errores, entre otros (Hockett et al., 1994: p. 212; Pyndick y Rubienfeld, 2000; Wooldridge, 2009).

En la tercera etapa se hizo la estimación econométrica. Para ello se utilizó el método Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). Asimismo, se desarrollaron diferentes pruebas de post-estimación, entre otras, para verificar la significancia estadística de las variables independientes y la robustez del modelo empleado. Enseguida se procedió con la presentación e interpretación de los resultados.

En la última etapa se hizo la proyección a cinco y 10 años. La variable dependiente utilizada en el modelo econométrico fue el peso (kilos) de los AEE por hogar (peso_tot_aee). En tanto que las variables incluidas en la regresión fueron el ingreso monetario corriente anual (ing_mon_anual), el número de miembros del hogar (num_miembros_hogar), el acceso al crédito (crédito) y el acceso a Internet (Internet).

Los coeficientes de las variables independientes derivados de la estimación econométrica se multiplicaron por el valor medio de cada una de ellas, y la suma de estos valores fue el peso promedio estimado de AEE por hogar de los estados de la muestra en 2016. Este último resultado se dividió entre el número promedio de miembros por hogar y así se estimó el peso promedio per cápita de la muestra.

Para estimar el peso de aparatos a nivel nacional se multiplicó este valor por el número de habitantes proyectados en el territorio nacional para el 2016. El resultado fue el peso de AEE que hay en todos los hogares de México. Posteriormente, se estimó una tasa de desecho de los AEE en los hogares. Ésta es el cociente entre el peso total de los aparatos en desuso por hogar y el peso total de aparatos por hogar.

Dicha tasa de desecho se multiplicó por el peso total de AEE por hogar, lo que arrojó el peso de RAEE por hogar. Este último valor se dividió por el número medio de miembros por hogar para obtener el peso de RAEE per cápita. Por último, esa variable se multiplicó por el número de habitantes proyectados del país. El resultado obtenido es el peso (en kilos) de los RAEE nacional para el 2016.

Posteriormente, para hacer la proyección de 2021 y 2026 se sustituyeron los valores de 2016 por los proyectados a nivel nacional (por fuentes oficiales nacionales e internacionales) para cada uno de los años para los que se hace la proyección. Para ello se procedió a utilizar los mismos coeficientes del modelo en 2016.

Cabe advertir que, si bien no se utilizaron las proyecciones de las variables de los estados de la muestra, dada la disponibilidad de información, las medias nacionales utilizadas sí reflejan los patrones de los hogares incluidos en la muestra, ello debido a dos razones fundamentales.

La primera es que los estados de Jalisco, Ciudad de México y Baja California presentan heterogeneidad regional al interior del país en términos de preferencias de consumo de AEE, dadas las grandes diferencias culturales y socioeconómicas que hay entre ellos.

La segunda es que, precisamente la idea de tener una base de datos con diferentes niveles de ingreso (bajo, medio y alto) fue identificar los diferentes segmentos de consumo de AEE, de tal manera que representaran los diferentes patrones de consumo de los hogares.

Con base en la revisión de la literatura reciente, para la estimación econométrica empírica de los AEE en México se parte de la idea de que la demanda es una función lineal de la siguiente ecuación:

$$y_i = \gamma_1 + \gamma_2 x_1 + \gamma_3 x_2 + \gamma_4 x_3 + \gamma_5 x_4 + u_i$$

Variable dependiente:

y_i : Peso total de los AEE consumidos por el hogar (kilos)

Variables independientes:

γ_1 : Constante del modelo

γ_2 ; γ_3 ; γ_4 ; γ_5 : Coeficientes del modelo

x_1 : Ingreso monetario corriente anual

x_2 : Número de miembros del hogar

x_3 : Acceso al crédito

x_4 : Acceso a Internet

u_i : Término de error

Cabe mencionar que los resultados aquí presentados sobre la generación de RAEE a nivel nacional son congruentes con las 958 kt propuestas para México en el documento “*The Global E-waste monitor 2014, Quantities, flows and resources*”, cuyo año base es tan solo un año anterior, es decir 2014, al año base del presente inventario.

Finalmente, cabe destacar que un inventario de RAEE confiable y actualizado, aportará información relevante para dimensionar las necesidades requeridas para su gestión. Posteriormente permitirá evaluar el impacto de la implementación de Planes de Manejo piloto en los diferentes estados en términos ambientales, económicos y sociales.