



Análisis de estadísticas de importación, exportación y fabricación de aparatos eléctricos y electrónicos en Colombia

Estimación de la generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en Colombia

Análisis de impacto normativo –AIN para los Sistemas e Recolección y gestión de RAEE

Angel Eduardo Camacho Lozano
Grupo de Sustancias Químicas, Residuos Peligrosos y UTO

30 de Octubre de 2018



**GOBIERNO
DE COLOMBIA**



MINAMBIENTE

**Asuntos Ambientales
Sectorial y Urbana**

Estimación de la generación de RAEE en Colombia

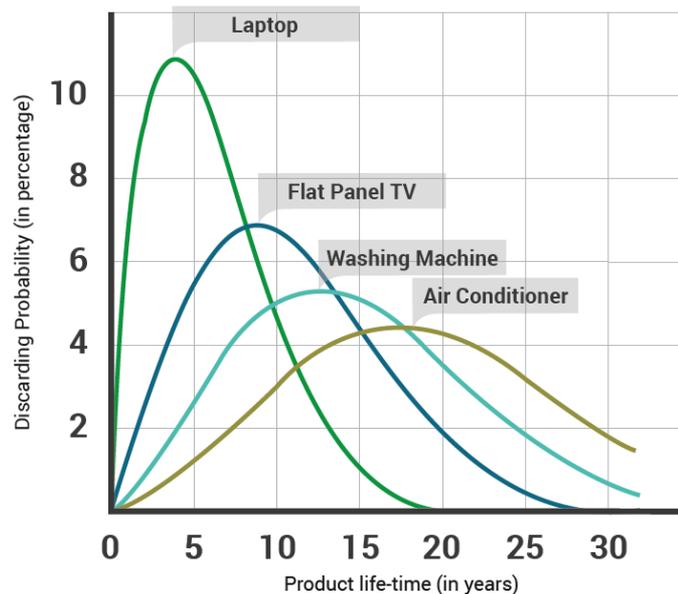
1. Consideraciones iniciales para la estimación:

- Se estima la generación de RAEE a partir de las bases de datos de las declaraciones de importaciones y exportaciones anualizadas y por subpartidas en el periodo 1991-2017, y de producción nacional (Encuesta Nacional Manufacturera) en el periodo 2000-2016 suministradas por el DANE, para las 613 subpartidas o productos identificados como AEE.
- Los cálculos en peso se hacen a partir del peso neto reportado en las declaraciones de importación o exportación, lo cual, en principio descuenta del peso total de la mercancía importada o exportada el peso de los empaques y embalajes de los productos.
- La base de datos de datos de producción nacional se suministra en unidades fabricadas a excepción de los cables y conductores expresados en metros y kilogramos. Para al conversión en peso se utiliza los pesos promedios unitarios por subpartida y año obtenidos de las declaraciones de importación.
- La estimación de la generación se hace aplicando la metodología de la Universidad de las Naciones Unidas - UNU que se basa en asimilar la generación de un RAEE a la probabilidad de falla y descarte de un producto, en este caso AEE, modelado por la distribución de Weibull en el rango de tiempo de la vida útil del AEE. La UNU suministra los 2 parámetros de la distribución para países de la UE y para países que no pertenecen a la UE, y se toma estos para el caso de Colombia.
- Los parámetros de la distribución de Weibull para la estimación de la generación de RAEE suministrados por la UNU están dados por cada una de las clases o tipos (UNU Keys) de AEE/RAEE según la clasificación hecha por la UNU a partir del Sistema Armonizado de Designación y Codificación de Mercancías a 6 dígitos y que corresponde a los AEE de mayor uso, esto es , de uso doméstico (hogares, negocios, instituciones)

Estimación de la generación de RAEE en Colombia (2)

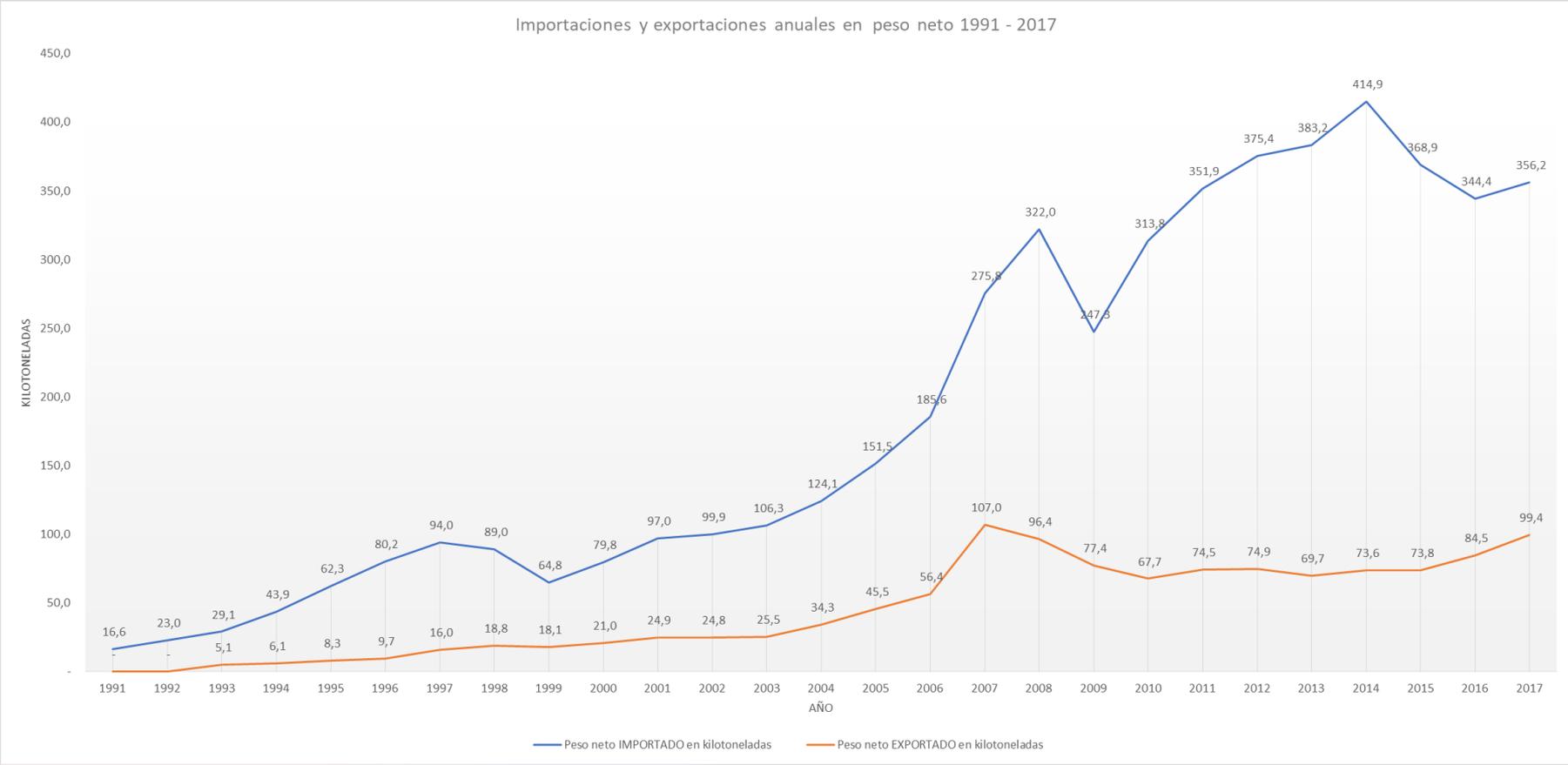
1. Consideraciones iniciales para la estimación:

- Se realizó una referencia cruzada de las UNU keys a las subcategorías de AEE/RAEE de la clasificación hecha para Colombia y se asignaron parámetros Weibull a 335 subpartidas de las 17 que conforman el universo de los AEE en Colombia.

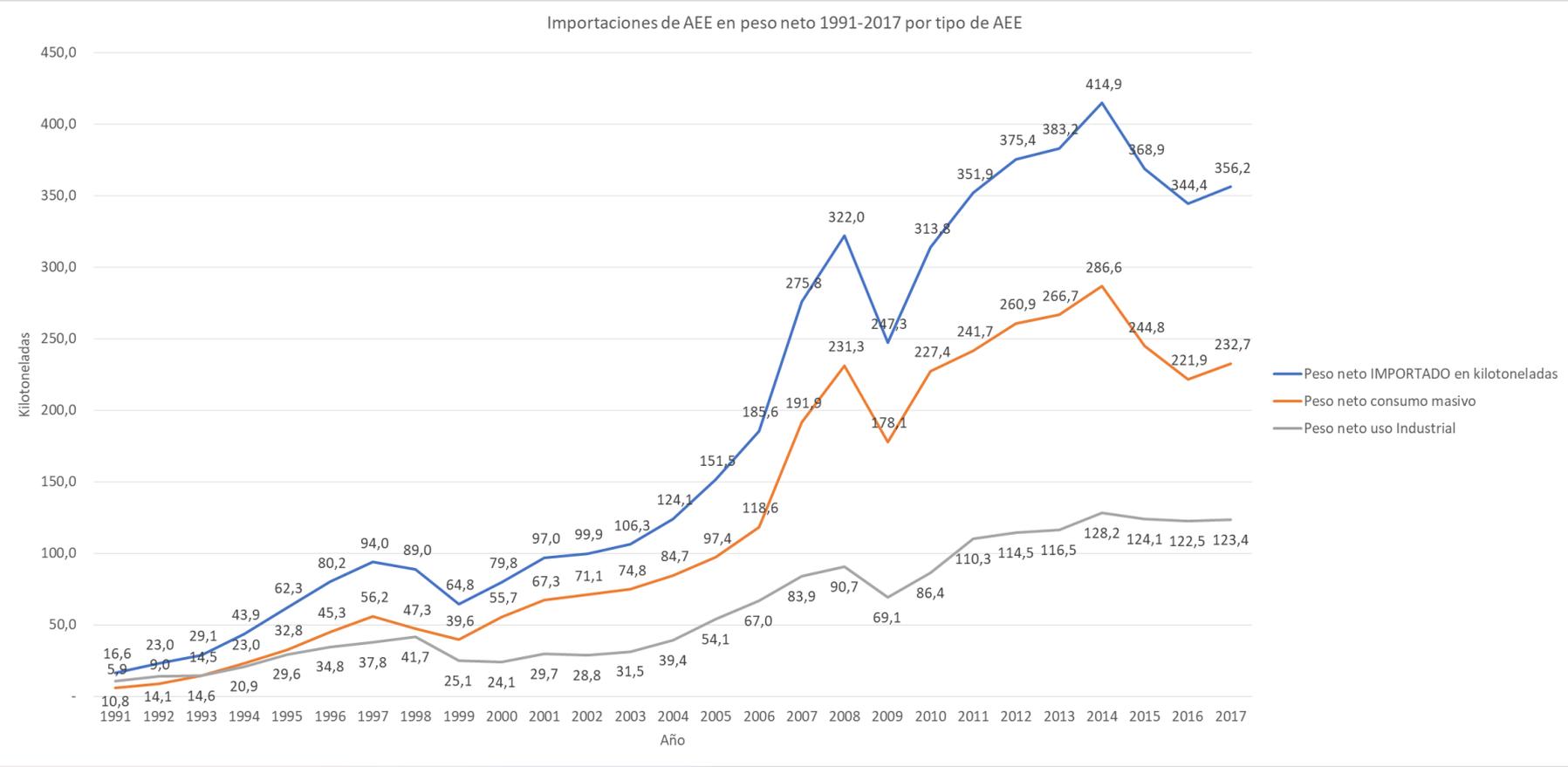


Baldé, C.P., Forti V., Gray, V., Kuehr, R., Stegmann, P.: The Global E-waste Monitor – 2017, United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna.

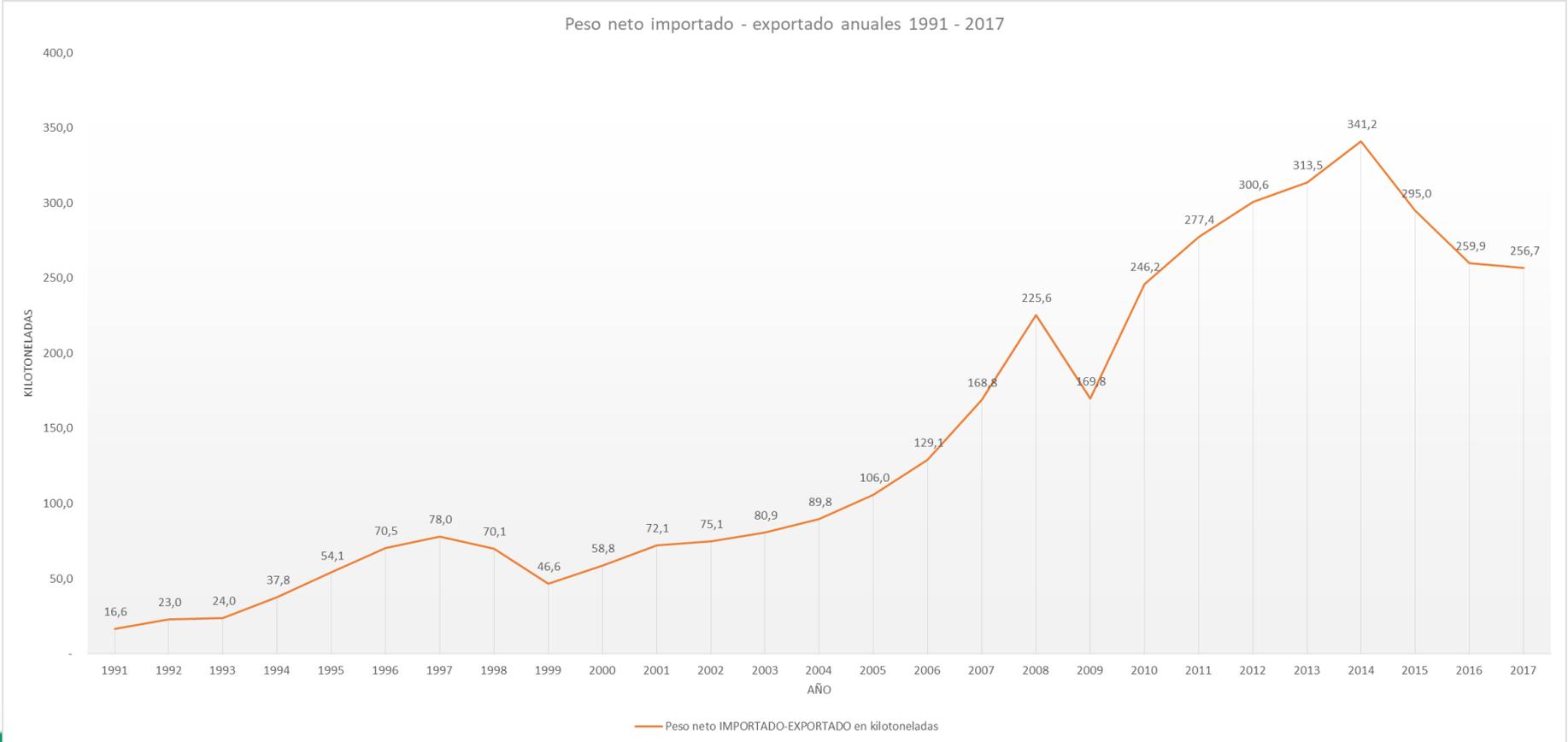
2. Información base para la estimación de la generación de RAEE en Colombia



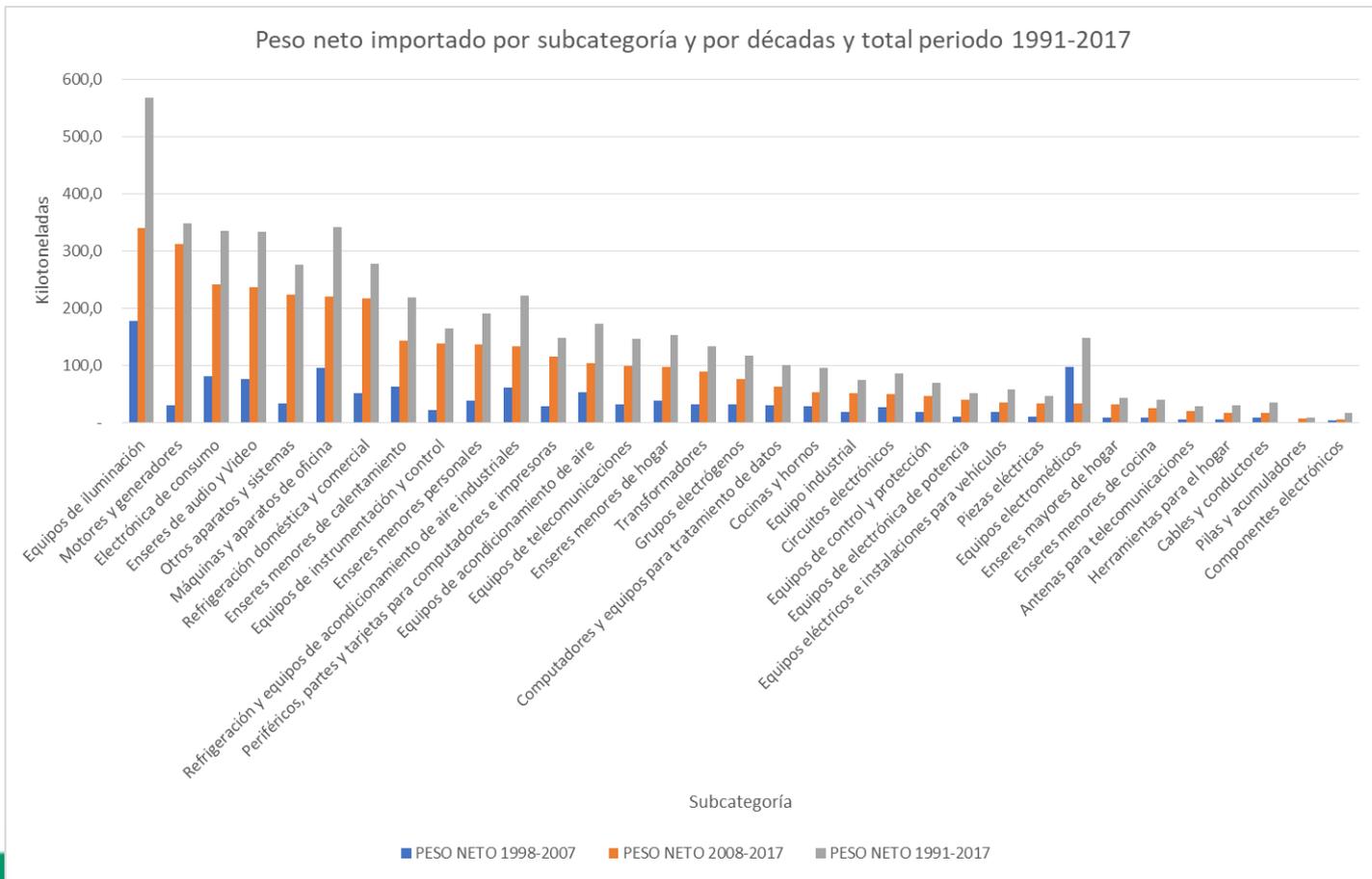
2. Información base para la estimación de la generación de RAEE en Colombia (2)



2. Información base para la estimación de la generación de RAEE en Colombia (3)

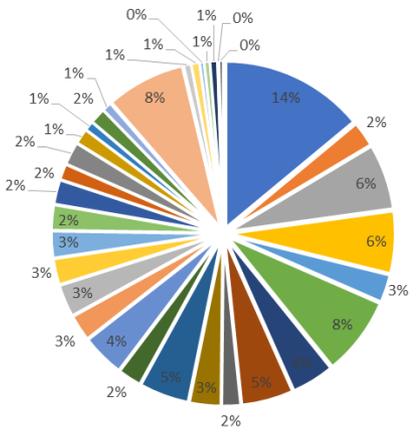


2. Información base para la estimación de la generación de RAEE en Colombia (5)



2. Información base para la estimación de la generación de RAEE en Colombia (8)

Participación (%) por subcategoría de AEE importados en la década 1998-2007



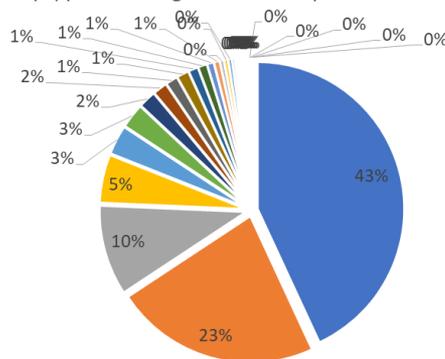
- Equipos de iluminación
- Motores y generadores
- Electrónica de consumo
- Enseres de audio y Video
- Otros aparatos y sistemas
- Máquinas y aparatos de oficina
- Refrigeración doméstica y comercial
- Enseres menores de calentamiento
- Equipos de instrumentación y control
- Enseres menores personales
- Refrigeración y equipos de acondicionamiento de aire industriales
- Periféricos, partes y tarjetas para computadores e impresoras
- Equipos de acondicionamiento de aire
- Equipos de telecomunicaciones
- Enseres menores de hogar
- Transformadores
- Grupos electrógenos
- Computadores y equipos para tratamiento de datos
- Cocinas y hornos
- Equipo industrial
- Circuitos electrónicos
- Equipos de control y protección
- Equipos de electrónica de potencia
- Equipos eléctricos e instalaciones para vehículos
- Piezas eléctricas
- Equipos electromédicos
- Enseres mayores de hogar
- Enseres menores de cocina
- Antenas para telecomunicaciones
- Herramientas para el hogar
- Cables y conductores
- Pilas y acumuladores
- Componentes electrónicos

2. Información base para la estimación de la generación de RAEE en Colombia (9)



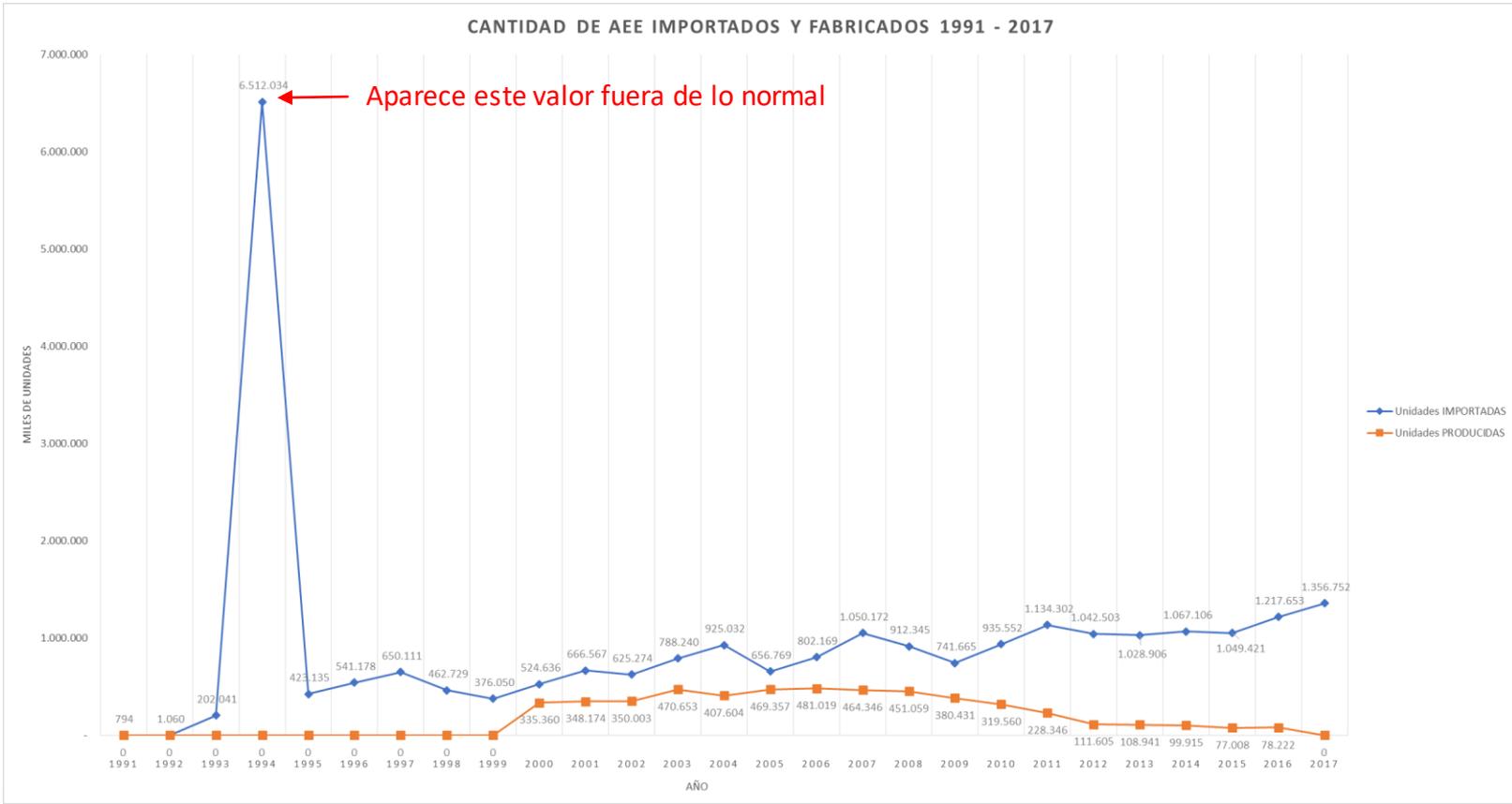
2. Información base para la estimación de la generación de RAEE en Colombia (10)

Participación (%) por subcategoría de AEE exportados en el periodo 1993-2017

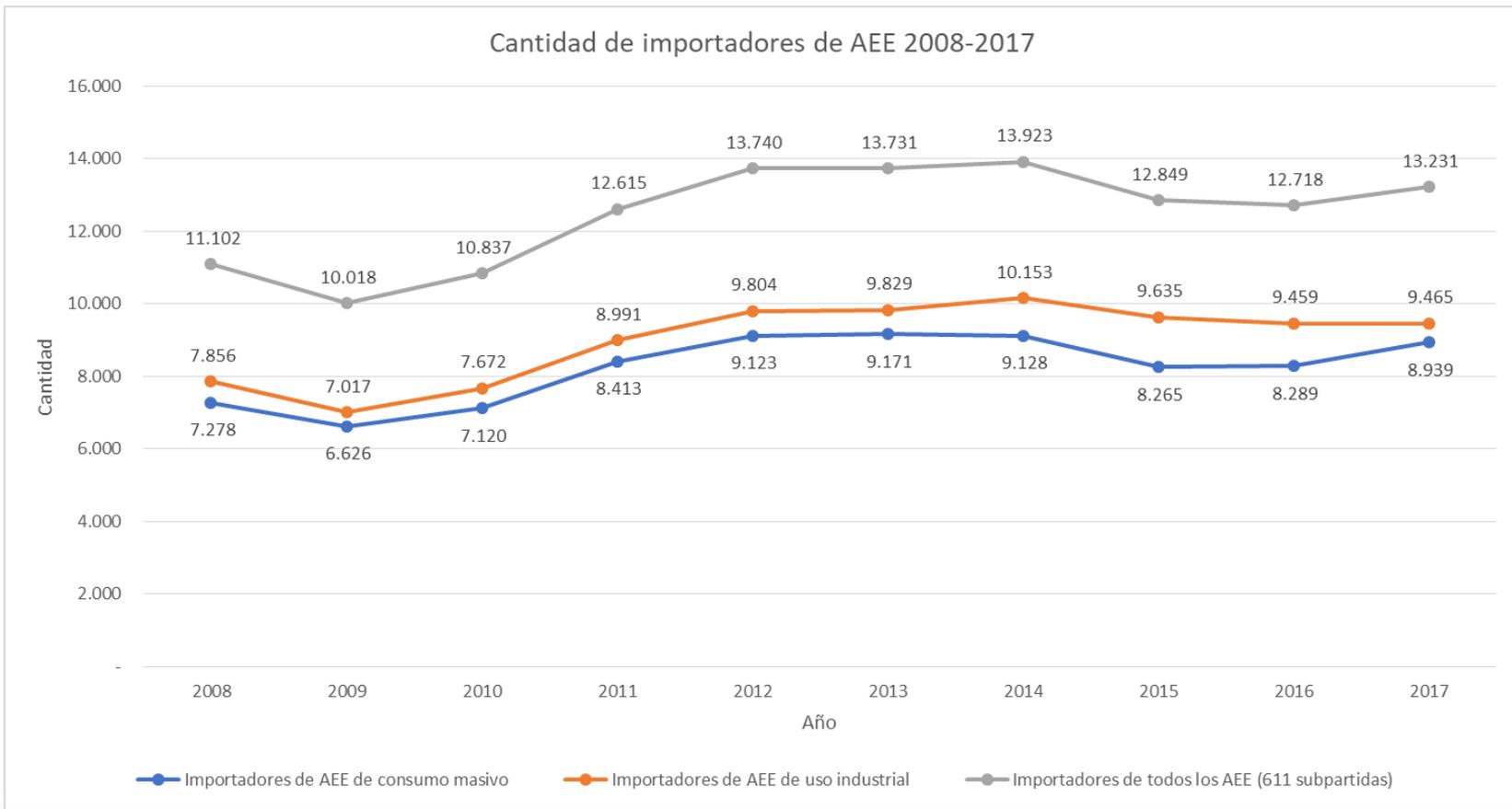


- Pilas y acumuladores
- Transformadores
- Equipos de iluminación
- Enseres menores de cocina
- Motores y generadores
- Equipos de electrónica de potencia
- Refrigeración y equipos de acondicionamiento de aire industriales
- Equipo industrial
- Enseres menores de calentamiento
- Equipos de instrumentación y control
- Piezas eléctricas
- Computadores y equipos para tratamiento de datos
- Circuitos electrónicos
- Otros aparatos y sistemas
- Antenas para telecomunicaciones
- Máquinas y aparatos de oficina
- Componentes electrónicos
- Refrigeración doméstica y comercial
- Cables y conductores
- Equipos de control y protección
- Equipos eléctricos e instalaciones para vehículos
- Cocinas y hornos
- Enseres menores de hogar
- Enseres mayores de hogar
- Grupos electrógenos
- Equipos de acondicionamiento de aire
- Equipos de telecomunicaciones
- Electrónica de consumo
- Enseres menores personales
- Periféricos, partes y tarjetas para computadores e impresoras
- Equipos electromédicos
- Enseres de audio y Video
- Herramientas para el hogar

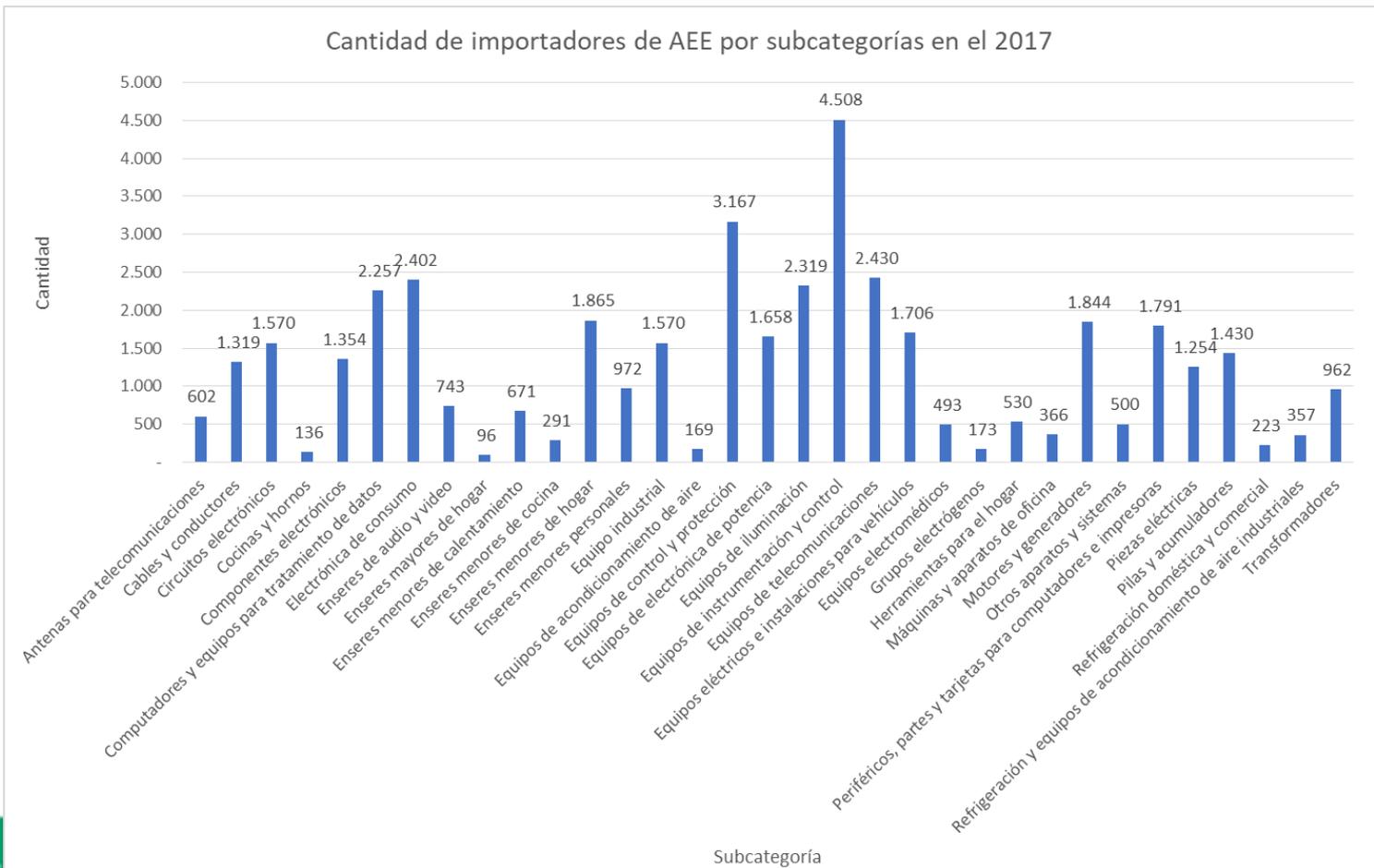
2. Información base para la estimación de la generación de RAEE en Colombia (11)



2. Información base para la estimación de la generación de RAEE en Colombia (12)



2. Información base para la estimación de la generación de RAEE en Colombia (13)



2. Información base para la estimación de la generación de RAEE en Colombia (14)

| Subcategoría | Cantidad total importadores 2017 | Cantidad importadores umbral 2017 | Participación (%) | Cantidad total de unidades importadas 2017 | Cantidad cubierta de unidades importadas 2017 | % cubrimiento |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------|
| Cocinas y hornos | 136 | 44 | 32,4% | 603.191 | 598.811 | 99,3% |
| Computadores y equipos para tratamiento de datos | 2.257 | 292 | 12,9% | 7.342.506 | 7.047.523 | 96,0% |
| Electrónica de consumo | 2.402 | 700 | 29,1% | 35.621.206 | 34.831.265 | 97,8% |
| Enseres de audio y video | 743 | 222 | 29,9% | 10.280.605 | 10.193.289 | 99,2% |
| Enseres mayores de hogar | 96 | 21 | 21,9% | 856.854 | 844.200 | 98,5% |
| Enseres menores de calentamiento | 671 | 172 | 25,6% | 6.307.523 | 6.112.514 | 96,9% |
| Enseres menores de cocina | 291 | 68 | 23,4% | 2.780.643 | 2.718.032 | 97,7% |
| Enseres menores de hogar | 1.865 | 253 | 13,6% | 4.860.721 | 4.507.614 | 92,7% |
| Enseres menores personales | 972 | 395 | 40,6% | 80.752.921 | 80.516.817 | 99,7% |
| Equipos de acondicionamiento de aire | 169 | 48 | 28,4% | 308.824 | 301.482 | 97,6% |
| Equipos de electrónica de potencia | 1.658 | 303 | 18,3% | 6.329.201 | 6.208.431 | 98,1% |
| Equipos de iluminación | 2.319 | 738 | 31,8% | 139.213.104 | 138.558.085 | 99,5% |
| Equipos de telecomunicaciones | 2.430 | 343 | 14,1% | 25.497.925 | 25.036.414 | 98,2% |
| Herramientas para el hogar | 530 | 112 | 21,1% | 1.905.957 | 1.850.686 | 97,1% |
| Periféricos, partes y tarjetas para computadores e impresoras | 1.791 | 274 | 15,3% | 18.024.235 | 17.743.209 | 98,4% |
| Pilas y acumuladores | 1.430 | 248 | 17,3% | 169.243.928 | 168.881.997 | 99,8% |
| Refrigeración doméstica y comercial | 223 | 34 | 15,2% | 327.054 | 314.103 | 96,0% |
| Totales | 19.983 | 4.267 | 21,4% | 510.256.398 | 506.264.472 | 99,2% |

3. Escenarios de estimación de la generación de RAEE en Colombia

- La base de aplicación de la distribución de Weibull debería ser el consumo aparente calculado así:

$$CA = \text{Manufactura local} + \text{Importaciones} - \text{Exportaciones}$$

- La generación se debe estimar en la magnitud de masa (kilogramos o toneladas) y por tanto el CA también a partir de todas las variables en masa, esto es, peso neto importado o exportado, y peso fabricado nacionalmente a partir de las unidades producidas y convertidas en peso.
- Dado que algunos AEE en Colombia tienen una fabricación nacional importante, como es el caso de la refrigeración doméstica, pilas y baterías, cocinas y hornos, y enseres menores de calentamiento, al calcular el CA para estos productos (subpartidas) el resultado es negativo, posiblemente por asimetrías o información incompleta en la base de datos de la producción nacional, inexactitud en la conversión de unidades a peso en la información de producción nacional, u otras causas no determinadas. Esto conlleva no poder correrse la probabilidad de Weibull para consumo aparente negativos, y por tanto, a no poderse estimar la generación con apego a la fórmula del consumo aparente.
- Por lo anterior se estima la generación en tres escenarios que dan cuenta de la generación máxima, mínima y media anual, así.
 1. Generación máxima: A partir de las importaciones en peso neto (1991-2017) sumada a la producción nacional (2000-2016). Se calcula primero la suma de las importaciones y la producción nacional en unidades y el resultado se convierte en peso por el peso promedio unitario derivado de las declaraciones de importación.
 2. Generación media: A partir de las importaciones en peso neto (1991-2017).
 3. Generación mínima: A partir de las importaciones en peso neto (1991-2017) restando las exportaciones en peso neto (1993-2017).

3. Escenarios de estimación de la generación de RAEE en Colombia (2)

- Se calcula la generación de RAEE en los tres escenarios para el periodo 1992 a 2026, agregando las probabilidades año a año y por cada subpartida así:

$$G(1992) = B(1991)*P(1)$$

$$G(1993) = B(1991)*P(2) + B(1992)*P(1)$$

$$G(1994) = B(1991)*P(3) + B(1992)*P(2) + B(1993)*P(1)$$

.....

$$G(1992+n) = B(1991)*P(n-1) + B(1992)*P(n-2) + B(1993)*P(n-2) + B(1992+n-1)*P(1)$$

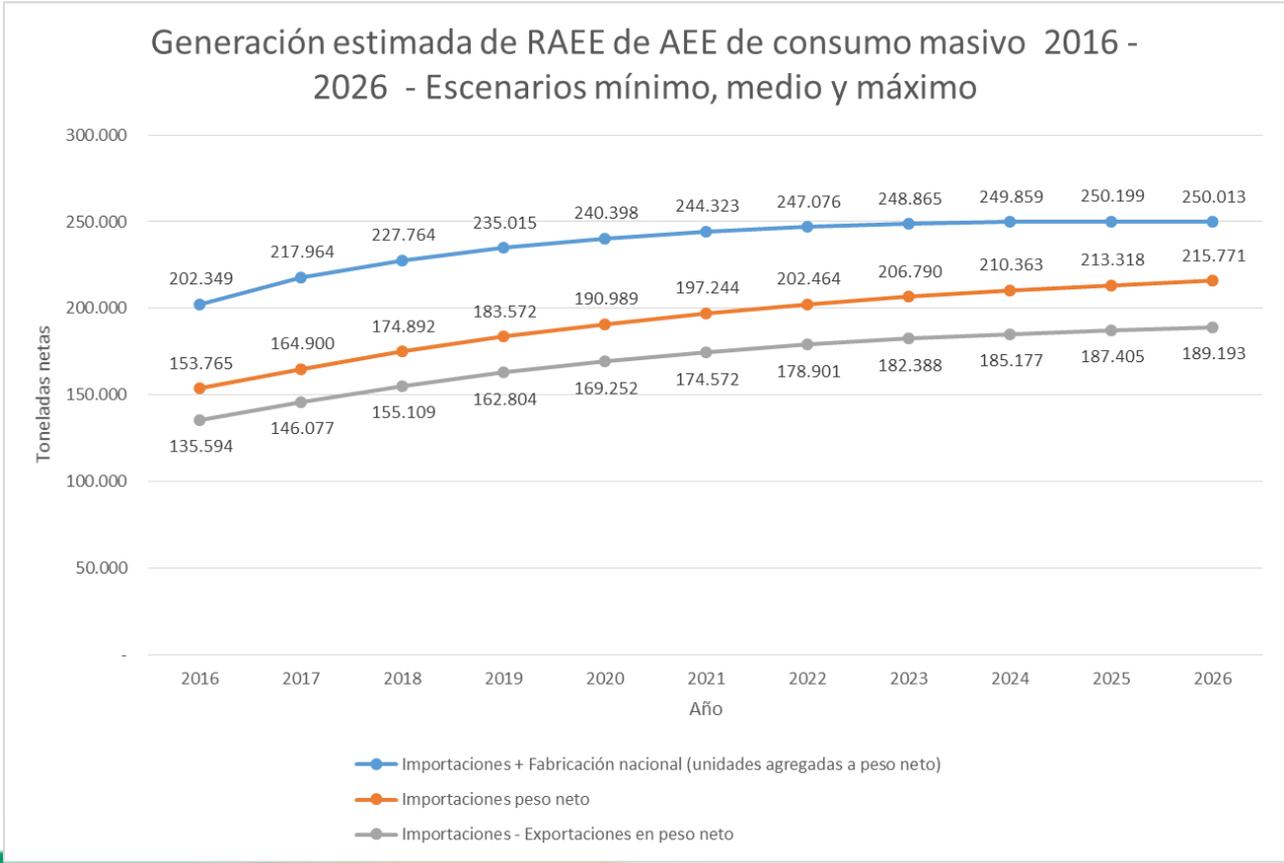
Con G(n): generación del año n, B(n): Base de cálculo del año n, P(n) : probabilidad de Weibull para el periodo n

- La generación de RAEE a partir del año 2018 se estima agregando la generación de la base histórica (1992-2017) -para lo cual se tienen los datos reales- y la generación de la base futura (2018 – 2025) proyectando estos valores. Dado que se encontró demasiada variabilidad en los datos subpartida a subpartida de los años de la base histórica, se hizo los cálculos proyectando la base futura con el valor del año 2017 y dejando el valor constante.
- Se calculó la generación para los AEE con los cuales se tienen los parámetros de la probabilidad de Weibull de la UNU, en dos grupos:
 - i) La totalidad de los UNU keys, correspondientes a 335 subpartidas que incluye todas los AEE de consumo masivo mas otros de uso industrial.
 - ii) Las UNU keys que corresponden solo a las 237 subpartidas de consumo masivo

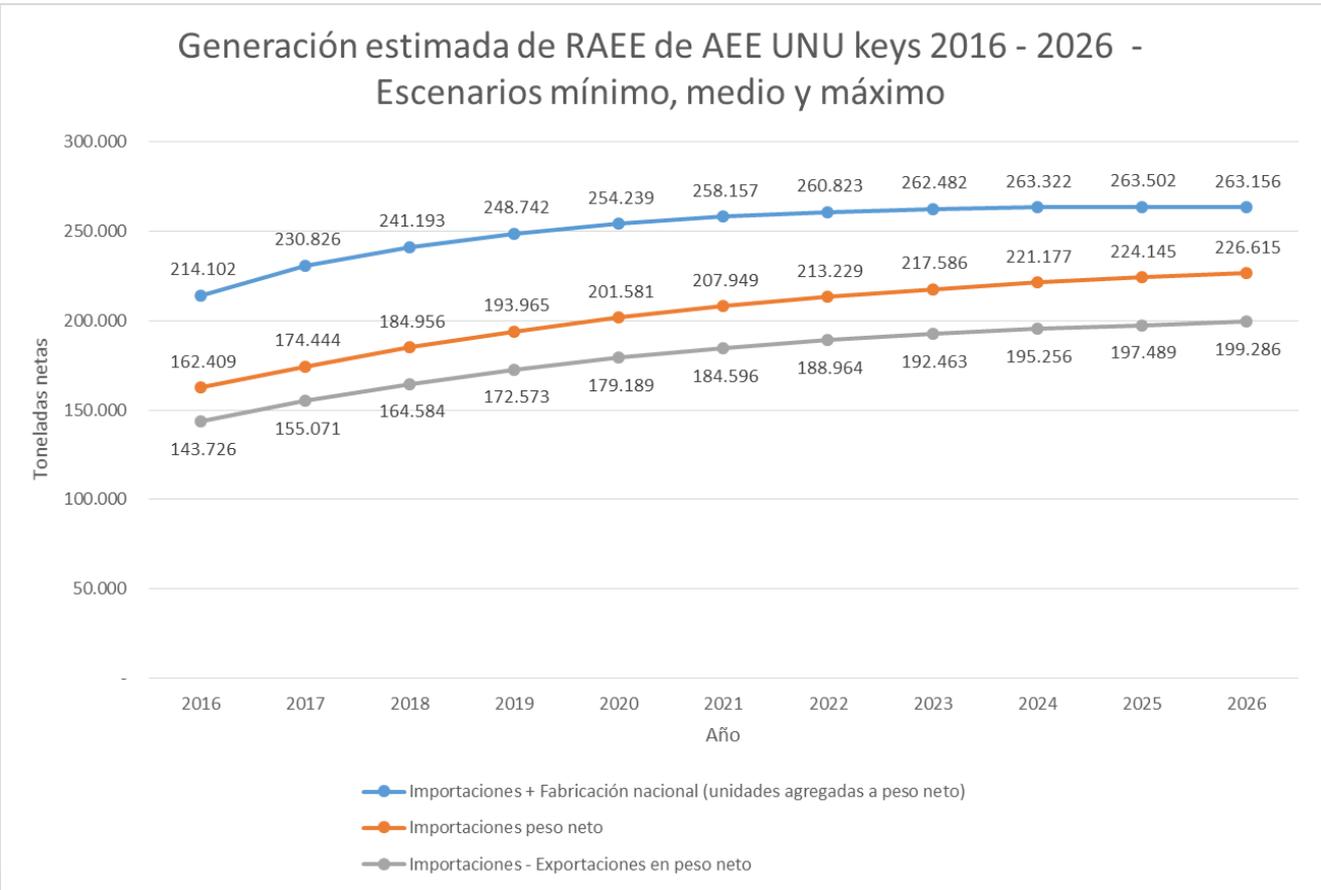
3. Resultados estimación de la generación de RAEE en Colombia

| | | Generación estimada de RAEE de AEE de consumo masivo 2016 - 2026 - Escenarios mínimo, medio y máximo (toneladas) | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| TIPO DE AEE | ESCENARIO | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 |
| AEE Consumo masivo o doméstico | Importaciones + Fabricación nacional (unidades agregadas a peso neto) | 202.349 | 217.964 | 227.764 | 235.015 | 240.398 | 244.323 | 247.076 | 248.865 | 249.859 | 250.199 | 250.013 |
| | Importaciones peso neto | 153.765 | 164.900 | 174.892 | 183.572 | 190.989 | 197.244 | 202.464 | 206.790 | 210.363 | 213.318 | 215.771 |
| | Importaciones - Exportaciones en peso neto | 135.594 | 146.077 | 155.109 | 162.804 | 169.252 | 174.572 | 178.901 | 182.388 | 185.177 | 187.405 | 189.193 |
| AEE UNU keys | Importaciones + Fabricación nacional (unidades agregadas a peso neto) | 214.102 | 230.826 | 241.193 | 248.742 | 254.239 | 258.157 | 260.823 | 262.482 | 263.322 | 263.502 | 263.156 |
| | Importaciones peso neto | 162.409 | 174.444 | 184.956 | 193.965 | 201.581 | 207.949 | 213.229 | 217.586 | 221.177 | 224.145 | 226.615 |
| | Importaciones - Exportaciones en peso neto | 143.726 | 155.071 | 164.584 | 172.573 | 179.189 | 184.596 | 188.964 | 192.463 | 195.256 | 197.489 | 199.286 |

3. Resultados estimación de la generación de RAEE en Colombia (2)



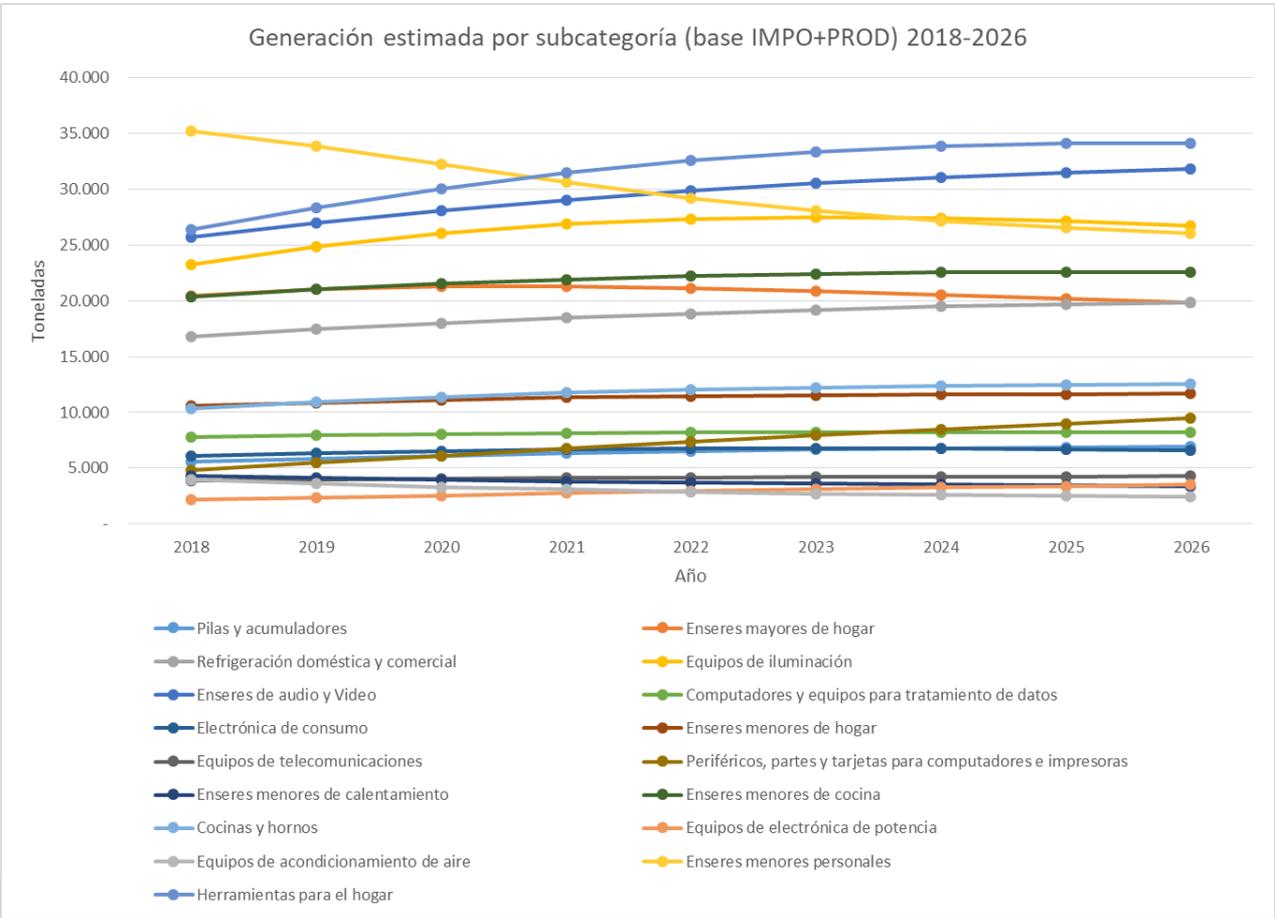
3. Resultados estimación de la generación de RAEE en Colombia (3)



3. Resultados estimación de la generación de RAEE en Colombia (4)

| Subcategoría | Generación estimada base Importaciones + Producción nacional - por subcategorías en toneladas 2018-2026 | | | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | Total 2018-2026 |
| Pilas y acumuladores | 5.587 | 5.867 | 6.115 | 6.331 | 6.514 | 6.666 | 6.788 | 6.880 | 6.947 | 100.732 |
| Enseres mayores de hogar | 20.463 | 20.985 | 21.239 | 21.273 | 21.136 | 20.879 | 20.547 | 20.178 | 19.803 | 335.073 |
| Refrigeración doméstica y comercial | 16.780 | 17.431 | 17.984 | 18.453 | 18.848 | 19.180 | 19.456 | 19.684 | 19.870 | 280.148 |
| Equipos de iluminación | 23.240 | 24.826 | 26.028 | 26.849 | 27.314 | 27.470 | 27.376 | 27.096 | 26.695 | 357.429 |
| Enseres de audio y Video | 25.672 | 26.950 | 28.067 | 29.028 | 29.839 | 30.509 | 31.050 | 31.474 | 31.796 | 482.058 |
| Computadores y equipos para tratamiento de datos | 7.779 | 7.951 | 8.076 | 8.160 | 8.211 | 8.234 | 8.233 | 8.214 | 8.180 | 136.353 |
| Electrónica de consumo | 6.066 | 6.321 | 6.517 | 6.653 | 6.735 | 6.766 | 6.755 | 6.710 | 6.640 | 111.492 |
| Enseres menores de hogar | 10.560 | 10.878 | 11.125 | 11.316 | 11.458 | 11.559 | 11.622 | 11.653 | 11.656 | 189.507 |
| Equipos de telecomunicaciones | 3.910 | 3.997 | 4.068 | 4.126 | 4.173 | 4.210 | 4.239 | 4.262 | 4.280 | 73.260 |
| Periféricos, partes y tarjetas para computadores e impresoras | 4.857 | 5.502 | 6.138 | 6.758 | 7.356 | 7.929 | 8.471 | 8.980 | 9.453 | 87.838 |
| Enseres menores de calentamiento | 4.357 | 4.172 | 3.997 | 3.842 | 3.711 | 3.603 | 3.519 | 3.454 | 3.406 | 93.837 |
| Enseres menores de cocina | 20.388 | 21.014 | 21.517 | 21.908 | 22.197 | 22.395 | 22.513 | 22.564 | 22.558 | 363.181 |
| Cocinas y hornos | 10.369 | 10.936 | 11.390 | 11.744 | 12.014 | 12.217 | 12.371 | 12.488 | 12.582 | 162.129 |
| Equipos de electrónica de potencia | 2.155 | 2.367 | 2.570 | 2.763 | 2.945 | 3.114 | 3.270 | 3.413 | 3.542 | 37.394 |
| Equipos de acondicionamiento de aire | 3.972 | 3.626 | 3.337 | 3.098 | 2.904 | 2.747 | 2.622 | 2.523 | 2.445 | 146.426 |
| Enseres menores personales | 35.222 | 33.834 | 32.182 | 30.582 | 29.187 | 28.052 | 27.174 | 26.522 | 26.054 | 631.944 |
| Herramientas para el hogar | 26.386 | 28.359 | 30.046 | 31.439 | 32.534 | 33.336 | 33.854 | 34.104 | 34.108 | 441.282 |
| Total anual | 227.764 | 235.015 | 240.398 | 244.323 | 247.076 | 248.865 | 249.859 | 250.199 | 250.013 | 4.030.082 |

3. Resultados estimación de la generación de RAEE en Colombia (5)



1. Estimación de la generación de RAEE en Colombia.

La generación de RAEE en Colombia corresponde al peso total de los aparatos eléctricos y electrónicos descartados (residuos) como resultado de su uso o consumo de estos dentro del territorio colombiano, una vez su propietario original decide dejar de usarlos, y por tanto descartarlos, por considerar que no tienen algún valor, y previo a cualquier actividad de gestión posconsumo antes de cualquier actividad de gestión posconsumo (recolección, preparación para reutilización, tratamiento, recuperación (incluyendo reciclaje) o exportación).

Existen varios modelos de cálculo o estimación de la generación de RAEE reportados en la literatura científica sobre el tema, los cuales se pueden clasificar en general en 4 grupos¹: análisis de la disposición actual de RAEE, análisis de series de tiempo (proyecciones), modelos de factores (utilizando factores determinantes para la correlación) y análisis de entrada-salida.

El análisis relacionado con la disposición utiliza datos de los RAEE descartados obtenidos de los canales de recolección, instalaciones de tratamiento y sitios de disposición final. Los modelos de proyección pronostican la tendencia de generación de RAEE extrapolando datos históricos al futuro. Los modelos factoriales se basan en hipótesis relaciones causales entre factores exógenos, como el tamaño de la población y el nivel de ingresos, frente a la generación de RAEE. El análisis de entrada-salida mapea cuantitativamente las fuentes, las rutas y los sumideros finales de los flujos de material, y hasta ahora es el método más utilizado en los estudios sobre generación de RAEE en el mundo.

Los modelos de entrada-salida describen cuantitativamente la dinámica, la magnitud e interconexiones de las tres variables básicas: ventas de productos, existencias y vidas útiles, con la generación de RAEE. Este modelo explica como los sistemas socioeconómicos mueven productos a la sociedad (a través de las ventas), donde se acumulan en el entorno construido (stock) y cuando los productos llegan al final de sus vidas después de un cierto período de tiempo (vida útil), salen del sistema como RAEE².

Asimismo, la literatura existente muestra que todos los métodos existentes de entrada-salida utilizan diferentes tipos de datos para las tres variables definidas (ventas, stock y vida útil). Para el caso de este AIN, se tomará como modelo para la estimación de la generación el de puesta en el mercado, con el cual la cantidad de RAEE se calcula a partir del producto de la serie temporal de las ventas de todos

¹ Wang, F. (2014.). E-waste: collect more, treat better. Tracking take-back system performance for eco-efficient electronics recycling. Dissertation Delft University, página 96.

² Ibídem, página 97.

los años históricos con sus respectivas tasas de obsolescencia en el año de evaluación. El método está representado por la siguiente expresión matemática:

$$G(n) = \sum_{t=t_0}^n PM(t).L^{(p)}(t,n)$$

Donde $G(n)$ es la cantidad de RAEE generados en el año de evaluación n ; $PM(t)$ es la puesta en el mercado producto de las ventas de los AEE en cualquier año histórico t antes del año n ; t_0 es el año inicial en el que los AEE se pusieron en el mercado; y $L^{(p)}(t, n)$ es el perfil de descarte basado en la vida útil para el lote de AEE vendidos en el año histórico t , lo cual refleja su tasa probable de descarte en el año n de evaluación (porcentaje de los AEE desechados respecto a las ventas totales en el año n)³.

Por lo anterior, y dado que no es posible conocer de forma directa la puesta o introducción al mercado colombiano de los AEE, se utiliza la equivalencia con el concepto de consumo aparente, el cual es utilizado para estimar la cantidad de un producto que se pone en manos de los consumidores. Este se define como “la suma de la producción más las importaciones menos las exportaciones”⁴. De esta forma, se calcula la puesta en el mercado con la siguiente expresión: $PM(t) = \text{Manufactura local}(t) + \text{Importaciones}(t) - \text{Exportaciones}(t)$.

De esta forma, para obtener los volúmenes en peso de AEE importados, exportados y fabricados localmente se parte de las bases de datos de las declaraciones de importaciones y exportaciones anualizadas y por subpartidas en el periodo 1991-2017, y de producción nacional (Encuesta Nacional Manufacturera) en el periodo 2000-2016 suministradas por el DANE, para las 613 subpartidas o productos identificados como AEE.

Los valores en peso corresponden al peso neto reportado en las declaraciones de importación o exportación, lo cual, en principio, descuenta del peso total de la mercancía importada o exportada el peso de los empaques y embalajes de los productos. La base de datos de datos de producción nacional se encuentra en unidades fabricadas a excepción de algunos AEE como los cables y conductores expresados en metros y kilogramos. Por esto, para la conversión a peso de las cantidades fabricadas en el país, se utiliza los pesos promedios unitarios por subpartida y año obtenidos de las declaraciones de importación.

Ahora, para definir el perfil de descarte de los AEE puestos en el mercado basado en la vida útil de los mismos, hay que tener en cuenta que, la vida útil de un producto

³ Ibídem, página 98.

⁴ Consumo de sustancias agotadoras de la capa de ozono: Es el consumo nacional aparente de sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO) controladas por el Protocolo de Montreal, correspondiente a la suma de la producción más las importaciones menos las exportaciones. Tomado de la “FICHA TECNICA - Sistema de Información del Medio Ambiente”, DANE, https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/Agotadoras_ozono13.pdf

difiere entre los diversos propietarios o usuarios individuales y toma la forma de una distribución de probabilidad para una población dada, como se muestra en la siguiente figura.



Fuente: Baldé, C.P., Forti V., Gray, V., Kuehr, R., Stegmann, P.: The Global E-waste Monitor – 2017, United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna.

Asimismo, por razones del desarrollo técnico-social, la vida útil de un producto depende del tiempo, por lo que las distribuciones de vida útil tienen que ser modeladas para cada año histórico de la puesta en el mercado⁵. En el presente análisis, se aplica la función de distribución de Weibull para modelar el perfil de vida útil, definido por un parámetro de forma variable en el tiempo $\alpha(t)$ y un parámetro de escala $\beta(t)$, tal como se muestra en la siguiente fórmula:

$$L^{(p)}(t,n) = [\alpha(t)/\beta(t)^{\alpha(t)}](n-t)^{\alpha(t)-1} e^{-[(n-t)/\beta(t)]^{\alpha(t)}}$$

Esta misma metodología es la que aplica la Universidad de las Naciones Unidas - UNU para general sus reportes de monitoreo anual de generación global de RAEE⁶, para lo cual aplica simulaciones de distribuciones de Weibull por medio de análisis de regresión no lineal sobre datos disponibles de ventas e inventarios de AEE en los hogares (stock) y encuestas a los usuarios sobre tiempos de vida útil, de tal forma, que las curvas se acoplen a los datos y así determinar con el mejor ajuste los valores de los dos parámetros α y β . La UNU ha determinado estos parámetros de la distribución para países de la UE y para países que no pertenecen a la UE, y se toma estos para el caso de Colombia.

⁵ Ibídem, página 101.

⁶ The Global E-waste Monitor – 2017, United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna.

Ahora, los parámetros de la distribución de Weibull para la estimación de la generación de RAEE suministrados por la UNU están dados por cada una de las clases o tipos (UNU Keys) de AEE/RAEE según la clasificación hecha por la UNU a partir del Sistema Armonizado de Designación y Codificación de Mercancías a 6 dígitos y que corresponde a los AEE de mayor uso, esto es, de uso doméstico (hogares, negocios, instituciones), tal como se muestra en la siguiente tabla:

| Item | UNU-KEYs | Distribución de vida útil de Weibull en Holanda, Francia y Bélgica | | Distribución de vida útil de Weibull en Italia | | Distribución de vida útil de Weibull usada para países no UE | |
|------|----------|--------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------|--------------|
| | | | | | | | |
| 1 | 1 | 2.00 | 14.21 | 2.00 | 14.21 | 2 | 14,21 |
| 2 | 2 | 3.50 | 25.00 | 3.50 | 25.00 | 3,5 | 25 |
| 3 | 101 | 1.95 | 17.52 | 1.14 | 16.07 | 1,92 | 16,07 |
| 4 | 102 | 1.64 | 14.20 | 1.37 | 14.28 | 1,79 | 17,13 |
| 5 | 103 | 2.47 | 18.04 | 1.31 | 19.35 | 2 | 19,35 |
| 6 | 104 | 2.20 | 15.16 | 2.20 | 13.65 | 1,85 | 13,32 |
| 7 | 105 | 2.58 | 15.73 | 2.58 | 15.73 | 2,58 | 18,08 |
| 8 | 106 | 2.00 | 13.47 | 1.22 | 18.80 | 2 | 13,47 |
| 9 | 108 | 2.20 | 16.43 | 2.36 | 18.50 | 2,2 | 16,71 |
| 10 | 109 | 2.74 | 24.20 | 1.28 | 18.55 | 1,28 | 18,55 |
| 11 | 111 | 2.69 | 14.52 | 1.05 | 7.53 | 2 | 20,6 |
| 12 | 112 | 2.39 | 13.56 | 1.29 | 8.29 | 2,36 | 13,36 |
| 13 | 113 | 2.44 | 20.56 | 2.50 | 18.02 | 1,6 | 15,36 |
| 14 | 114 | 1.90 | 14.07 | 1.33 | 9.05 | 2,07 | 17,99 |
| 15 | 201 | 1.25 | 8.17 | 0.83 | 6.53 | 1,22 | 7,97 |
| 16 | 202 | 2.06 | 11.22 | 1.15 | 9.57 | 2,02 | 11,02 |
| 17 | 203 | 1.73 | 7.80 | 1.18 | 7.61 | 1,18 | 7,61 |
| 18 | 204 | 1.45 | 10.25 | 1.22 | 10.59 | 1,22 | 10,59 |
| 19 | 205 | 1.26 | 10.67 | 1.20 | 8.09 | 1,2 | 8,09 |
| 20 | 301 | 1.25 | 5.91 | 1.30 | 6.15 | 1,3 | 6,15 |
| 21 | 302 | 1.58 | 8.95 | 1.57 | 8.91 | 1,8 | 10,33 |
| 22 | 303 | 1.60 | 6.57 | 1.66 | 6.81 | 1,94 | 8,76 |
| 23 | 304 | 1.68 | 9.91 | 1.53 | 6.88 | 1,88 | 9,31 |
| 24 | 305 | 1.24 | 7.22 | 1.32 | 7.70 | 1,32 | 7,7 |
| 25 | 306 | 1.56 | 6.26 | 1.52 | 5.62 | 1,52 | 5,62 |
| 26 | 307 | 1.46 | 7.78 | 1.46 | 7.78 | 1,46 | 7,78 |
| 27 | 308 | 2.41 | 12.53 | 1.40 | 15.94 | 1,4 | 15,94 |
| 28 | 309 | 2.33 | 7.39 | 2.33 | 7.39 | 2,3 | 12,18 |
| 29 | 401 | 1.30 | 9.87 | 1.30 | 9.87 | 1,3 | 9,87 |
| 30 | 402 | 0.79 | 7.97 | 1.11 | 5.56 | 1,5 | 10,01 |
| 31 | 403 | 2.09 | 15.54 | 1.25 | 13.99 | 2,3 | 10 |

| | | | | | | | |
|----|------|------|-------|------|-------|-------------|--------------|
| 32 | 404 | 1.67 | 10.47 | 1.14 | 8.33 | 1,14 | 8,33 |
| 33 | 405 | 1.49 | 10.78 | 1.13 | 12.54 | 1,13 | 12,54 |
| 34 | 406 | 1.41 | 8.12 | 1.19 | 6.75 | 1,19 | 6,75 |
| 35 | 407 | 2.49 | 12.08 | 2.49 | 12.08 | 2,49 | 12,08 |
| 36 | 408 | 2.01 | 11.75 | 2.01 | 11.75 | 1,88 | 10,95 |
| 37 | 501 | 1.42 | 8.72 | 1.42 | 8.72 | 1,42 | 8,72 |
| 38 | 502 | 1.60 | 8.43 | 1.60 | 8.43 | 1,6 | 8,43 |
| 39 | 503 | 1.93 | 8.43 | 1.93 | 8.43 | 1,75 | 5,79 |
| 40 | 504 | 1.60 | 6.90 | 1.60 | 6.90 | 1,6 | 6,9 |
| 41 | 505 | 1.42 | 11.00 | 1.42 | 11.00 | 1,42 | 11 |
| 42 | 506 | 2.34 | 16.59 | 2.34 | 16.59 | 2,34 | 16,59 |
| 43 | 507 | 2.00 | 11.84 | 2.00 | 11.84 | 2 | 12,5 |
| 44 | 601 | 1.82 | 11.28 | 1.82 | 11.28 | 1,77 | 14,98 |
| 45 | 602 | 2.50 | 15.50 | 2.50 | 15.50 | 2,5 | 15,5 |
| 46 | 701 | 1.43 | 4.56 | 1.43 | 4.56 | 1,43 | 4,56 |
| 47 | 702 | 1.14 | 4.78 | 1.14 | 4.78 | 1,14 | 4,78 |
| 48 | 703 | 2.40 | 11.56 | 2.40 | 11.56 | 2,4 | 11,56 |
| 49 | 801 | 1.99 | 13.46 | 1.99 | 13.46 | 1,99 | 13,46 |
| 50 | 802 | 2.41 | 13.52 | 2.41 | 13.52 | 2,41 | 13,52 |
| 51 | 901 | 1.55 | 5.89 | 1.55 | 5.89 | 1,55 | 5,89 |
| 52 | 902 | 1.92 | 11.56 | 1.92 | 11.56 | 1,92 | 11,56 |
| 53 | 1001 | 2.00 | 10.06 | 2.00 | 10.06 | 2 | 10,06 |
| 54 | 1002 | 2.00 | 10.06 | 2.00 | 10.06 | 2 | 15 |

De esta forma, se estima la generación de RAEE a partir del año 1992 y hasta el año 2026 por cada una de las 237 subpartidas categorizadas como de consumo masivo, en la magnitud de masa (kilogramos o toneladas) aplicando la distribución probabilística de descarte de Weibull, según los parámetros indicado por la UNU para países diferentes a la UE, y calculando la puesta en el mercado con todas las variables en masa, esto es, peso neto importado o exportado, y peso fabricado nacionalmente a partir de las unidades producidas y convertidas en peso.

Dado que algunos AEE en Colombia tienen una fabricación nacional importante, como es el caso de la refrigeración doméstica, pilas y baterías, cocinas y hornos, y enseres menores de calentamiento, al calcular el CA para estos productos (subpartidas) el resultado es negativo, posiblemente por asimetrías o información incompleta en la base de datos de la producción nacional, inexactitud en la conversión de unidades a peso en la información de producción nacional, u otras causas no determinadas. Esto conlleva a que no se pueda aplicar la probabilidad de Weibull para valores de consumo aparente negativos, y por tanto, a no poderse estimar la generación con apego a la fórmula del consumo aparente.

Por lo anterior, se estima la generación en tres escenarios que dan cuenta de la generación máxima, mínima y media anuales que se pudieron haber dado en el periodo 1992 – 2017 y que puedan darse en el periodo proyectado 2018 – 20126. Los escenarios son los siguientes:

1. Generación máxima: A partir de las importaciones en peso neto en el periodo 1991-2017 y proyectadas en el periodo 2018-2025 con el valor correspondiente del 2017 y constante hasta el 2025, sumada a la producción nacional en el periodo 2000-2016. Se calcula primero la suma de las importaciones y la producción nacional en unidades y el resultado se convierte en peso por el peso promedio unitario derivado de las declaraciones de importación.
2. Generación media: A partir de las importaciones en peso neto en el periodo 1991-2017 y proyectadas en el periodo 2018-2025 con el valor correspondiente del 2017 y constante hasta el 2025.
3. Generación mínima: A partir de las importaciones en peso neto en el periodo 1991-2017 y restándole las exportaciones en peso neto en el periodo 1993-2017. La diferencia se proyectas en el periodo 2018-2025 con el valor correspondiente del 2017 y constante hasta el 2025. Es de anotar, que se exceptuaron del cálculo los casos de valores negativos derivados de la diferencia efectuada.

En la siguiente gráfica se puede observar los resultados de los cálculos para los tres escenarios en el periodo 2016-2026.

