



15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

MODELO DE GENERACIÓN DE RESIDUOS DE APARATOS ELECTRÓNICOS DE CEIBAL

Mariana Robano*

Especialista en economía circular, gestión de residuos y sostenibilidad. Ingeniera hidráulica ambiental con master en ingeniería y diploma en Producción más Limpia. Con más de 20 años de experiencia profesional asesora al sector público y privado.

ReAcción

Mariana Fernández

ReAcción

Ignacio Gründel

Ceibal

TEMA: Residuos sólidos



Bernardina F. de Rivera 1486: Montevideo – Uruguay - Tel.: 099296988 – e-mail: mariana@alva.com.uy

RESUMEN

Ceibal, a lo largo de sus más de 17 años ha promovido integrar tecnologías digitales a la educación con el fin de mejorar los aprendizajes e impulsar procesos de innovación, inclusión y crecimiento personal. Ha provisto al total de los centros educativos públicos del país con internet inalámbrico, a la mayoría de los urbanos con sistema de videoconferencia, a la totalidad de estudiantes de entre 6 y 15 años con un dispositivo propio, así como a su equipo docente. En el período 2018-2022 entregó en promedio 185.000 dispositivos por año, los que representan 165 toneladas de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE), incluyendo cargadores y baterías. La buena gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) es fundamental para promover la sostenibilidad y reducir el impacto ambiental de estos productos. Ceibal ha logrado recolectar un promedio de 119 toneladas anuales (de las cuales 17 ton corresponden a baterías). Y del total de RAEE enviados a tratamiento, ha logrado valorizar un 75% (89 toneladas anuales en promedio). Ceibal desde sus inicios lleva adelante una estricta política de minimización en la generación de RAEE a través del ecodiseño de sus dispositivos y de una adecuada gestión de los AEE (reparación, desguace de equipos y recuperación de componentes para obtención de repuestos) que posiciona a la institución en un lugar de liderazgo en el manejo de RAEE.

En el marco del desarrollo del Plan de Gestión de RAEE se elaboró un modelo de generación de RAEE que considera los dispositivos entregados y su vida útil (en función del esquema de recambio propuesto por Ceibal y la probabilidad de obsolescencia de cada dispositivo modelada con la función de distribución de Weibull). Dicho modelo se validó con datos de los registros de los últimos años. El modelo elaborado y validado permite proyectar la cantidad de RAEE que generará, recolectará y valorizará Ceibal con su plan de gestión de RAEE en los próximos años.

Palabras Clave (en negritas): economía circular, educación, RAEE, sostenibilidad



15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

INTRODUCCIÓN

Ceibal, a lo largo de sus más de 17 años ha promovido integrar tecnologías digitales a la educación con el fin de mejorar los aprendizajes e impulsar procesos de innovación, inclusión y crecimiento personal. Ha provisto al total de los centros educativos públicos del país con internet inalámbrico, a la mayoría de los urbanos con sistema de videoconferencia, a la totalidad de estudiantes de entre 6 y 15 años con un dispositivo propio, así como a su equipo docente.

De acuerdo al principio de Responsabilidad Extendida del Fabricante o Importador planteado por el borrador del decreto reglamentario para la gestión integral de RAEE del Ministerio de Ambiente (MA), Ceibal es responsable de establecer un plan de gestión de RAEE para aquellos AEE que pone en el mercado. Asimismo se establece que en dicho plan de gestión se deben alcanzar ciertas metas de recolección y valorización.

En términos de toneladas de AEE “puestos en el mercado”, Ceibal representa menos del 7% referido a su categoría y en torno al 0,5% referido a todos los AEE puestos en el mercado Uruguayo. Sin embargo, sus prácticas de recuperación de RAEE hacen que las cantidades enviadas a tratamiento representen el 14% de todos los RAEE gestionados formalmente en Uruguay. Las políticas actuales de Ceibal de brindar servicios de reparación, desguace de equipos y recuperación de componentes para obtención de repuestos, alineadas con las estrategias de economía circular, posicionan a la institución en un lugar de liderazgo a nivel país y global en el manejo de RAEE.

En este trabajo se presenta el modelo de generación de RAEE (elaborado por Ceibal en el marco de una consultoría realizada por la empresa ReAcción en el 2023) que permite proyectar la cantidad de RAEE que generará, recolectará y valorizará Ceibal en los próximos años.

OBJETIVOS

Como parte de la elaboración del plan de gestión de RAEE de Ceibal, y con el objetivo de proyectar la cantidad de RAEE que generará, recolectará y valorizará Ceibal en los próximos años, se construyó un modelo de generación de RAEE. En este trabajo se presentan el modelo conceptual, las hipótesis asumidas, la metodología de cálculo, la validación con datos de los últimos años, los resultados así como las limitaciones de dicho modelo de generación de RAEE. Los resultados del modelo son contrastados con las metas planteadas por el MA (en el borrador del decreto) para los próximos años.

ALCANCE

El modelo de generación de RAEE desarrollado considera el grupo de dispositivos entregados por Ceibal de mayor relevancia: laptops y tablets (incluyendo sus cargadores y baterías) entregadas en centros educativos públicos de todo el país para uso individual de sus estudiantes, docentes y equipos directivos así como los entregados en modalidad biblioteca y en modalidad de préstamo para pruebas internacionales o proyectos de investigación y/o programación. El modelo deja por fuera los AEE de telecomunicaciones (equipos de conectividad a Internet WiFi y equipos de videoconferencia) instalados por Ceibal en centros educativos públicos, AEE entregados para laboratorios y talleres (placas programables, impresoras 3D, sensores, servomotores, drones) así como los AEE de las oficinas de Ceibal (laptops, equipos de red, impresoras, equipos de aire acondicionado, etc) en tanto se considera que no aportan cantidades significativas a la generación de RAEE de Ceibal. Por otro lado, el plan de gestión de RAEE de Ceibal se aplica a todos los AEE entregados por Ceibal en Uruguay.



15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

MARCO CONCEPTUAL

El plan de gestión de RAEE de Ceibal se basa en los principios de economía circular que fomentan la reducción de residuos mediante la reutilización, reciclaje y recuperación de componentes. Esto incluye un diagnóstico riguroso de los RAEE generados, una selección de equipos con criterios de circularidad (selección de dispositivos más duraderos, modulares y fáciles de reparar) y un sistema de recolección y clasificación para maximizar la reutilización, la recuperación de componentes y el reciclaje (en ese orden de jerarquía). Se realizan también actividades de educación y capacitación en gestión de RAEE fomentando la transparencia. Ceibal invierte en investigación y desarrollo para encontrar soluciones innovadoras de gestión de RAEE y promover tecnologías más sostenibles.

La implementación de un plan de gestión de RAEE basado en los principios de la economía circular reduce su huella ambiental, promueve la sostenibilidad y aprovecha al máximo los recursos disponibles.

METODOLOGÍA

Para el cálculo de la generación de RAEE se utiliza el modelo de AEE puestos en el mercado (modelo POM por su sigla en inglés) que se describe con la siguiente ecuación:

$$RAEE(n) = \sum_{t=t_0}^n POM(t) \cdot VU(t, n) - \text{Ecuación 1}$$

Donde:

RAEE (n) es la cantidad de RAEE generados en el año n (expresada en unidades de dispositivos).

POM (t) es la cantidad de dispositivos entregados en el año t.

t_0 es el primer año de entregas de dispositivos (2007).

VU (t,n) es la probabilidad de obsolescencia del dispositivo entregado en el año t, evaluada al año n.

La probabilidad de obsolescencia de cada dispositivo fue modelada con la función de distribución de Weibull. La distribución de Weibull tiene dos parámetros: forma (α) y escala (β). Estudios de la UE consideran una vida útil promedio de 8 años para laptops y tablets. Sin embargo, considerando el tipo de usuario (en su mayoría niños y adolescentes) y la modalidad de uso de los dispositivos (con traslados diarios) entregados por Ceibal consideramos conveniente bajar la vida útil promedio a 6 años. Para la distribución de Weibull que modela la probabilidad de obsolescencia de cada dispositivo, se consideró un factor de forma igual a 2 (valor utilizado en estudios de la UE para este tipo de dispositivos) y un factor de escala de 6,8.

Para el caso de Ceibal, el modelo de generación de RAEE considera dos categorías de dispositivos en función de su vida útil máxima:

- Equipos devueltos: dispositivos con una vida útil máxima definida por el plan de recambio de Ceibal
- Equipos no devueltos: dispositivos con una vida útil máxima definida por el fabricante del dispositivo

Para ambos grupos se modeló la probabilidad de obsolescencia con la función de distribución de Weibull con los mismos parámetros de forma y escala según el tipo de dispositivo. Sin embargo, en el primer caso, al momento del recambio del dispositivo (definido por Ceibal) se trunca su vida útil y el dispositivo se transforma en RAEE (en manos de Ceibal) mientras que en el segundo caso, se considera que el dispositivo sigue en uso (en manos del beneficiario) hasta tanto no presente una falla sin posibilidad de reparación.

Para estimar la cantidad de equipos devueltos se consideraron por un lado el porcentaje de estudiantes que abandonan el sistema educativo público (por inserción en el sistema educativo privado o deserción)



15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país antes de un recambio y por otro lado, el porcentaje de devolución de dispositivos al momento de un recambio o fin de ciclo del alcance Ceibal. Cuando la devolución de un dispositivo al final de su vida útil es voluntaria (como es el caso de los dispositivos sin recambio pautado, por ej. laptops entregados a docentes y a centros educativos en modo biblioteca y tablets 10" entregadas a estudiantes de 7o), se asume que solo un 5% de los beneficiarios entregan su dispositivo a Ceibal.

El peso de los dispositivos y de sus baterías se consideró variable en el tiempo y calculado como el promedio del peso de los distintos modelos de dispositivos entregados cada año (promedio ponderado por la cantidad de dispositivos entregados por año de cada modelo). Para el caso de los cargadores se asumió un peso constante en el tiempo igual a 140 gramos para todos los dispositivos.

RESULTADOS

Validación del modelo con datos históricos

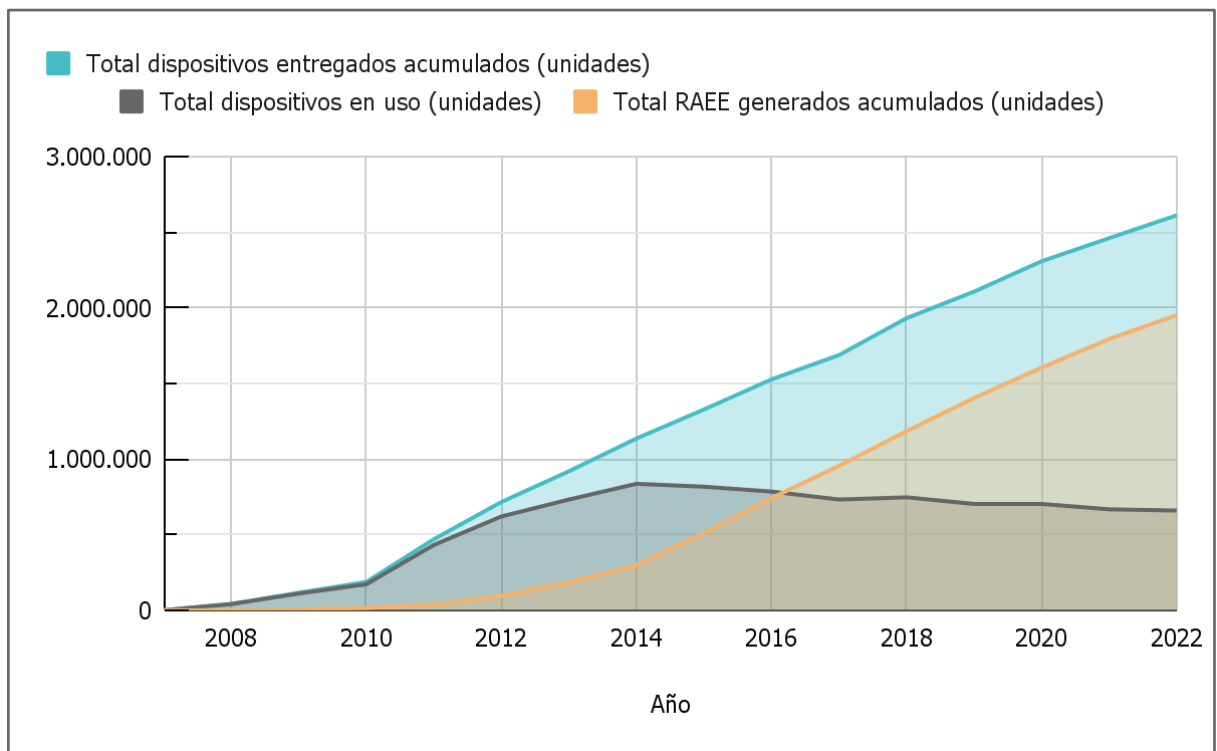


Figura 1: Dispositivos entregados, RAEE generados y dispositivos en uso

En la siguiente tabla se presentan los RAEE generados por Ceibal (expresados en kg) desde su inicio hasta el 2022. En dicha tabla se observa que el modelo estima una generación de 2.349 toneladas de RAEE desde el inicio de Ceibal.

Del modelo de generación de RAEE elaborado se desprende que actualmente Ceibal cuenta con un parque activo de 659.411 dispositivos. Si se compara este valor con el dato brindado por el equipo de Ceibal de que a diciembre del 2023 tenían 642.553 dispositivos vigentes y funcionando, se puede afirmar que el modelo logra un muy buen ajuste (con una diferencia menor al 3%).

Del modelo se desprende que entre 2007 y 2022, 625.973 dispositivos no fueron devueltos a Ceibal, de los cuales 128.504 corresponden a laptops entregados a docentes; es decir que si descontamos los equipos no devueltos por docentes el modelo estima un total de 497.469 dispositivos no devueltos a Ceibal.



15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

Si se compara este valor con el dato brindado por el equipo de Ceibal de que hoy tienen 472.496 dispositivos “fuera de alcance” que no incluye los laptops no devueltos por personal docente, se puede afirmar que el modelo logra un muy buen ajuste (con una diferencia menor al 6%).

Por último, en la siguiente tabla se presentan los resultados del modelo para la categoría de dispositivos devueltos (y por tanto en manos de Ceibal como para poder derivarlos a tratamiento) expresados en kg de RAEE generados excluyendo el peso de las baterías. A continuación de la tabla se presenta un gráfico que compara estos resultados con los datos brindados por Ceibal de RAEE enviados a tratamiento sin baterías y descontando un 10% del peso correspondiente a las cajas de cartón, pallets y otros materiales de embalaje.

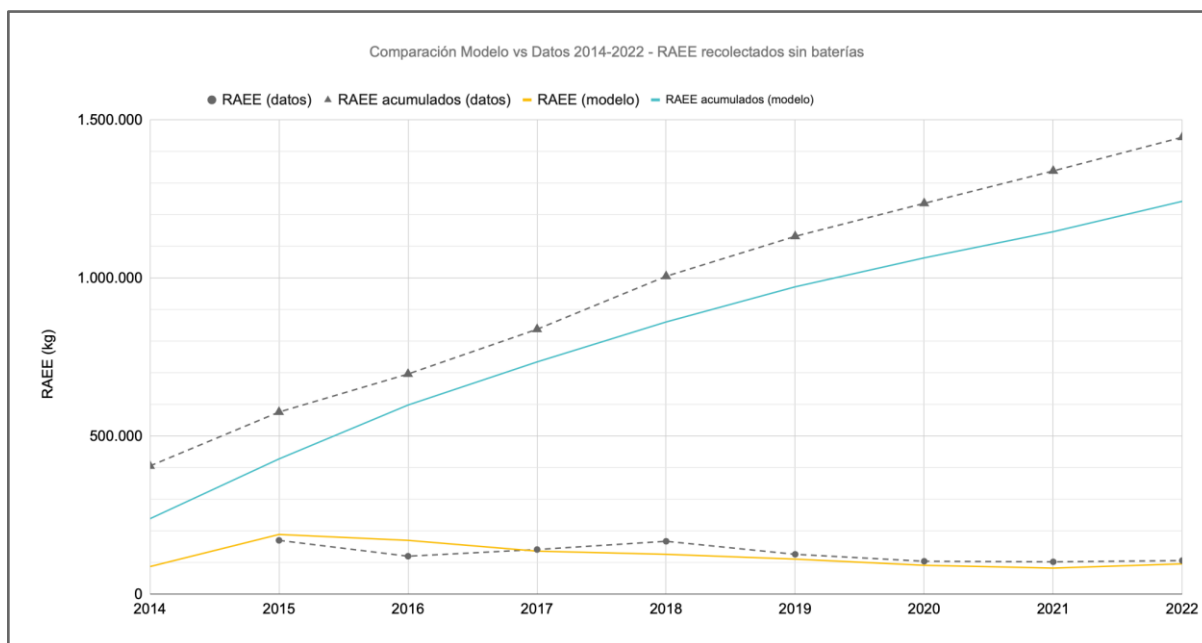


Figura 2: Comparación de los resultados del modelo de generación de RAEE (dispositivos devueltos, sin batería) con los datos provistos por Ceibal de RAEE enviados a tratamiento (RAEE expresados en kg).

Comparando los valores de RAEE anuales, se observa que si bien el modelo presenta grandes diferencias con los datos en los años 2016 y 2018, a partir del año 2019 el ajuste del modelo es bueno logrando diferencias menores al 20%. Por otro lado, comparando los valores de RAEE acumulados, se observa que el modelo subestima los datos brindados por Ceibal durante todo el período analizado (2014-2022) con diferencias que varían entre el 12% y el 26%. Sin embargo, a partir del año 2018, la diferencia entre los resultados del modelo y los datos se mantiene constante en torno al 14%. Esto puede deberse a la inclusión en los datos de componentes de RAEE no consideradas en el modelo como ser equipos de telecomunicaciones, equipos de laboratorios y talleres y equipos de oficinas Ceibal.

Comparando los resultados del modelo de generación de RAEE usando solo el peso de las baterías de los dispositivos devueltos, con los datos de baterías enviadas a tratamiento desde Ceibal, se observa que el modelo presenta diferencias grandes en los años 2018 y 2019 con respecto a los datos pero a partir del 2020, el ajuste es bueno con diferencias inferiores al 21%. La subestimación del modelo en este último período (2020-2022) puede deberse a la inclusión en los datos de componentes de RAEE no consideradas en el modelo como ser las baterías de las UPS instaladas con los equipos de telecomunicaciones.

Del modelo de generación de RAEE elaborado, resulta que hasta fines de 2022 se han generado 271 toneladas de baterías por dispositivos devueltos, un 55 % más que el dato que tenía registrado Ceibal (175 ton de baterías recuperadas en total: 150 ton almacenadas más 25 ton exportadas en 2015). Dado que en



15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país
las demás comparaciones, el modelo logró un buen ajuste con los datos registrados por Ceibal (sobre todo en el último período que coincide con datos más recientes y seguramente de mejor calidad), en esta oportunidad no se optó por recalibrar el modelo.

Otra confirmación del adecuado ajuste que logra el modelo planteado es el resultado del balance de masa planteado para el 2022, se comparan por un lado los RAEE estimados por el modelo que son enviados a tratamiento con los RAEE efectivamente enviados a tratamiento en Werba y la diferencia se ubica en torno al 5%.

Proyección de la generación de RAEE

Se utilizó el modelo elaborado para proyectar la generación de RAEE de Ceibal durante el período 2023 - 2028 con el objetivo de poder contrastar los resultados del modelo con las metas de recolección y valorización exigidas en el Decreto de RAEE (borrador).

Es importante resaltar que en lo que refiere a la entrega de dispositivos, algo que se revisa año a año en Ceibal por el cambio acelerado de la tecnología, no es fácil proyectar cantidades ni características de los dispositivos (peso, vida útil, etc) a ser entregados con un bajo nivel de incertidumbre. Las cantidades de dispositivos entregados durante el 2023 se conocen mientras que las cantidades de dispositivos a entregar cada año entre el 2024 y el 2028 se asumen iguales a las planificadas para el 2024.

Para proyectar la recolección de RAEE se parte del dato de los kg de RAEE enviados a tratamiento para el 2022 (descontando el cartón) y se asume la misma tendencia que los resultados del modelo en kg de RAEE generados en la categoría de dispositivos devueltos para el período 2023-2028. Por otro lado, para estimar la valorización de RAEE en el período 2023-2028 se asume que se mantiene el porcentaje de RAEE valorizados respecto de los RAEE enviados a tratamiento sin baterías de los últimos 3 años (promedio 2020-2022: 87%).

De acuerdo a los resultados del modelo, los niveles de recuperación y valorización de RAEE de Ceibal cumplirían con las metas de recolección del borrador del decreto reglamentario para la gestión integral de RAEE del MA. Por otro lado, para alcanzar las metas de valorización es necesario contar con un tratamiento de las baterías que con el grado de avance actual es muy factible que esté implementado para el 2028.

CONCLUSIONES

En conclusión, el modelo de generación de RAEE desarrollado y validado en este trabajo, ha permitido a Ceibal proyectar la cantidad de RAEE que generará, recolectará y valorizará en los próximos años. Este modelo proporciona un marco sólido para entender y anticipar el comportamiento de los dispositivos a medida que llegan al final de su vida útil. Está diseñado para adaptarse a una variabilidad inherente en la entrega de dispositivos.

Los resultados obtenidos no solo validan el ajuste del modelo a los datos, sino que también demuestran que Ceibal está en una posición favorable para cumplir con las metas relativas a la recolección y valorización de RAEE propuestas en el borrador del decreto del MA. La institución ha logrado recuperar y valorizar un porcentaje significativo de los residuos generados, reafirmando su papel de liderazgo en la gestión de RAEE en Uruguay.