

CARACTERIZACIÓN DE CANTIDAD Y DIMENSIONES FÍSICAS DE ELECTRÓNICOS EN ETAPA DE CONSUMO: ESTUDIO PILOTO EN INDIANA

Juliette Bermudez Camelo

Máster en Ciencias de la Ingeniería Ambiental y Ecológica.

Purdue University

Tendencias de los Residuos Electricos y Electronicos (RAEE)

- Los desechos electrónicos, o residuos electrónicos, son la corriente de desechos de más rápido crecimiento en el mundo. En 2019 se produjeron globalmente 53.6 millones de toneladas (MT) de desechos electrónicos, y se estimaron 74.7 mil millones (MT) para el año 2030.
- Las tasas de recolección son inferiores al 12% en todas las regiones, excepto en Europa, donde la tasa de recolección es del 42.5%.

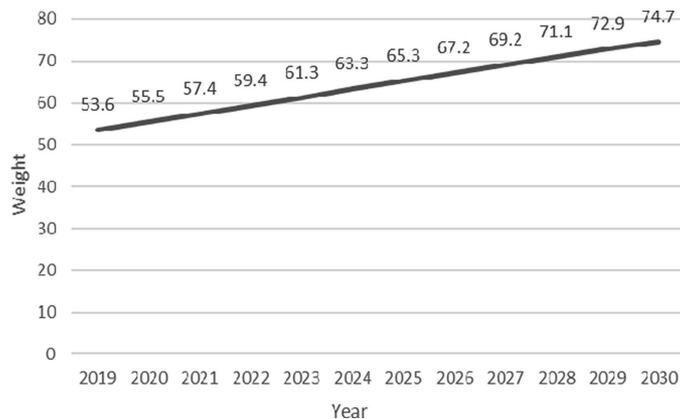


Figura 1. Generación de RAEE entre 2019 y 2030. peso en millones de toneladas (MT).

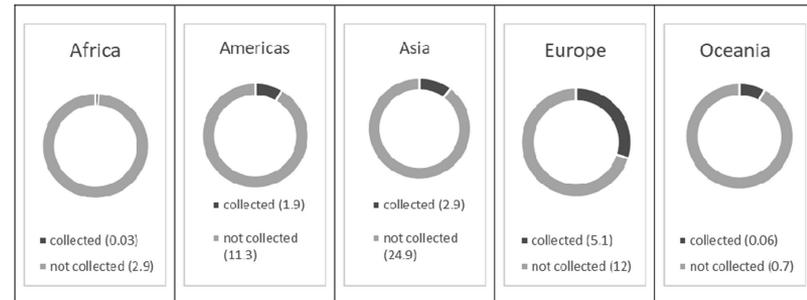


Figura 2. Tasas de recolección por region (Figuras en millones de toneladas)

Shittu, O. S., Williams, I. D., & Shaw, P. J. (2021). Global E-waste management: Can WEEE make a difference? A review of e-waste trends, legislation, contemporary issues and future challenges. *Waste Management*, 120, 549-563.

Stocks y flujos de los dispositivos electrónicos

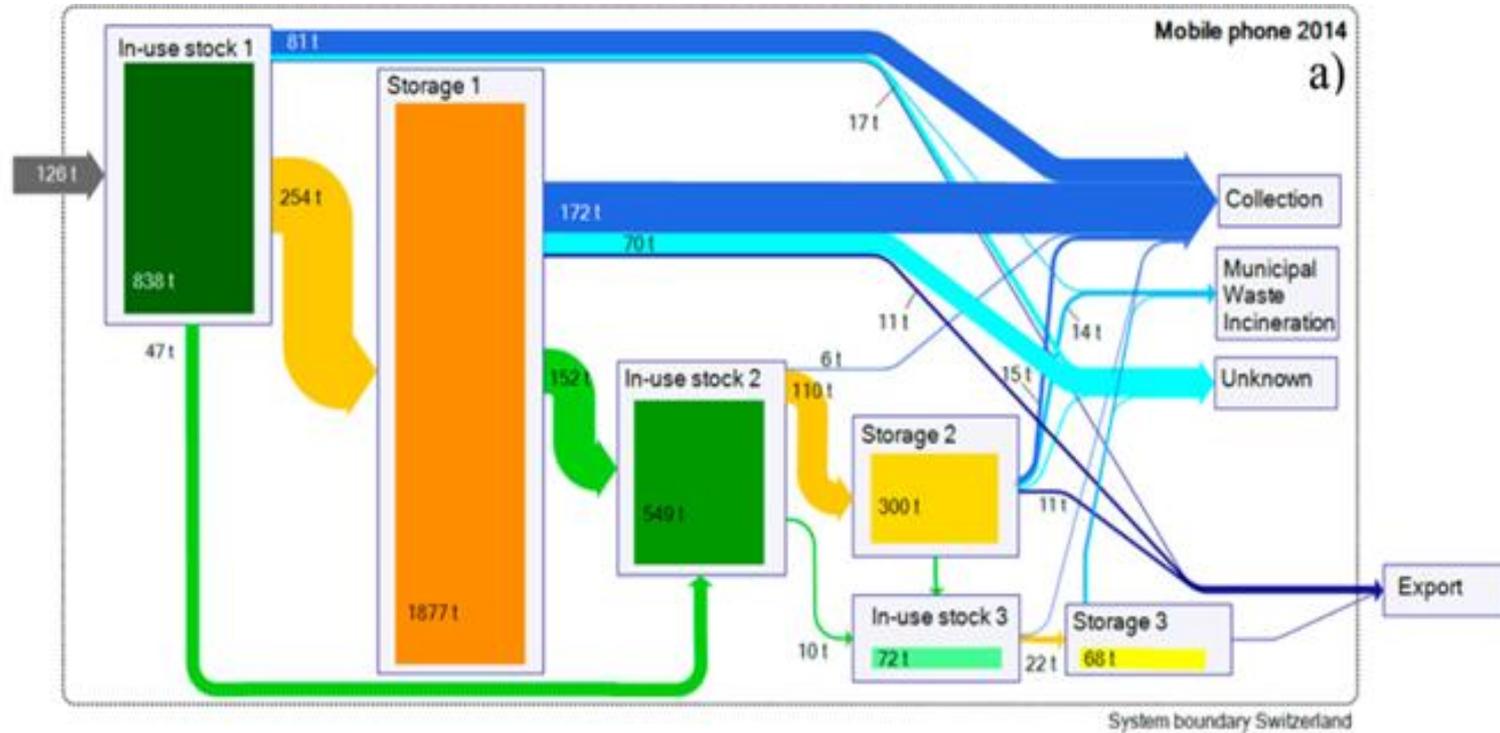


Figura 3. Stock y flujos de celulares móviles en 2014.

Thiébaud, E., Hilty, L. M., Schluep, M., & Faulstich, M. (2017). Use, storage, and disposal of electronic equipment in Switzerland. *Environmental science & technology*, 51(8), 4494-4502.

Distribución de materiales valioso y críticos

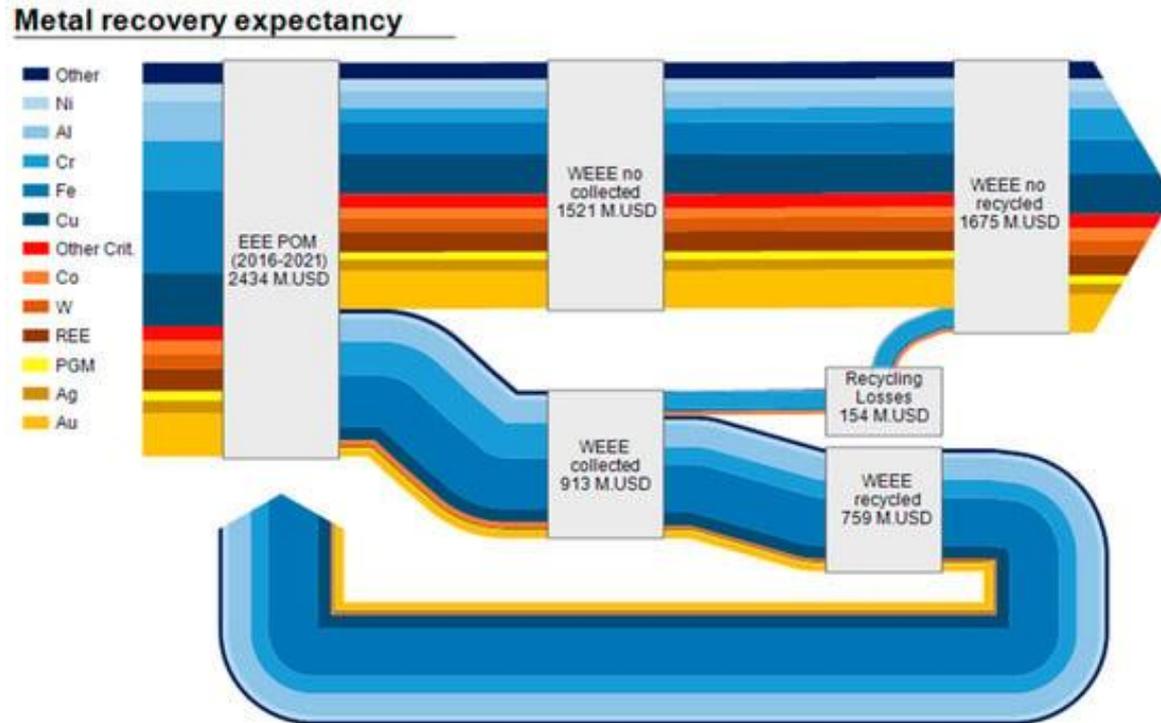


Figura 4. Diagrama de Sankey que muestra la expectativa de recuperación de metales de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (EEE) en España entre 2016 y 2021, así como las pérdidas en cada etapa del proceso de recuperación. Unidades: millones de dólares estadounidenses (M.USD).

Torrubia, J., Valero, A., Valero, A., & Lejuez, A. (2023). Challenges and Opportunities for the Recovery of Critical Raw Materials from Electronic Waste: The Spanish Perspective. *Sustainability*, 15(2), 1393. <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/2/1393>

¿De dónde vienen estos número?

PREDICCIONES

Estas predicciones provienen de modelos y aplicaciones de *machine learning*.

- Los modelos son representaciones matemáticas o algoritmos que **se basan en datos** para representar estructuras de sistemas, patrones, relaciones y reglas.
- El *Machine learning* se relaciona con entrenar los modelos con ejemplos para identificar patrones y hacer predicciones sobre nuevos **datos**.

Algunos modelos aplicados a estimar generación de RAEE son:

- Análisis de Flujo de Materiales (AFM)
- AFM dinámico en el que se incluye diagramas de stock y flujos

Analisis de Flujo de Materiales (AFM)

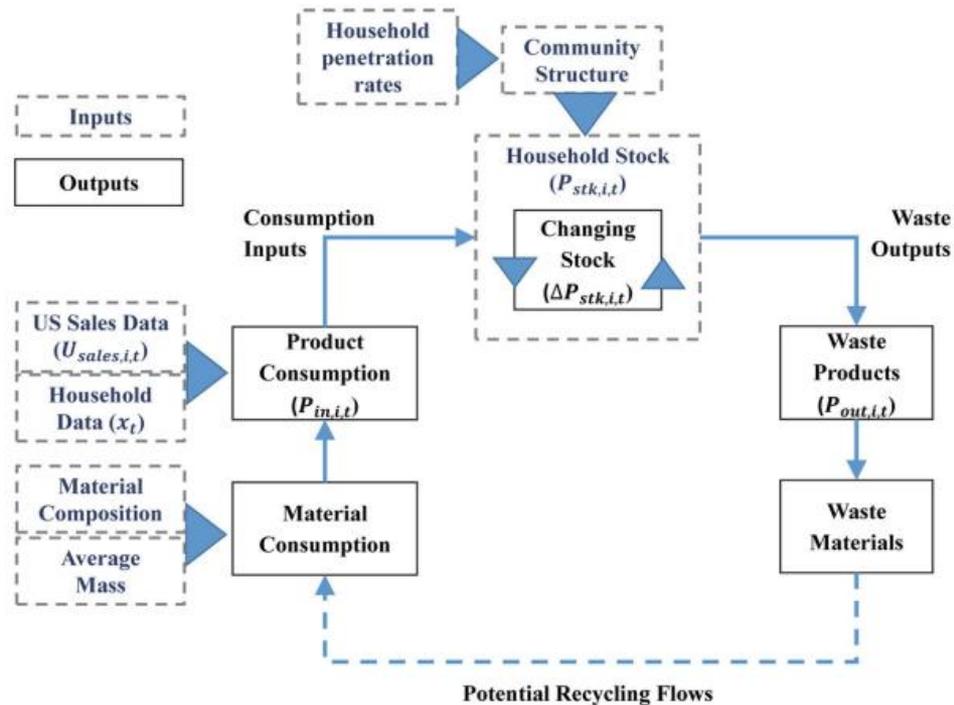
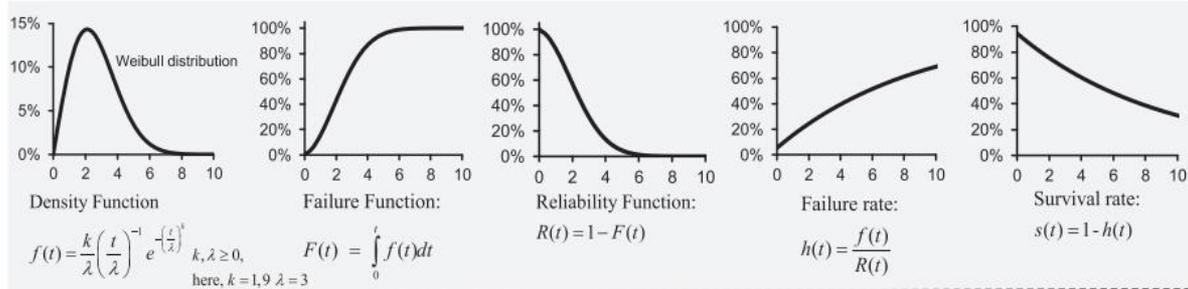


Figure 2 A product ecosystem material flow analysis. Model inputs include product material composition and mass, U.S. sales data, number of households, and installed household stock. Stock and inflow are used to calculate outflow. Waste materials, especially of critical metals and rare earth elements, offer a potential source for material inputs through the creation of a circular economy.

Kasulaitis, B. V., Babbitt, C. W., & Krock, A. K. (2019). Dematerialization and the circular economy: Comparing strategies to reduce material impacts of the consumer electronic product ecosystem. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 119-132.

AFM Dinámico



aging chain for detailed modeling of stock accumulation with survival probabilities after each year (calculated from the underlying lifetime distributions)

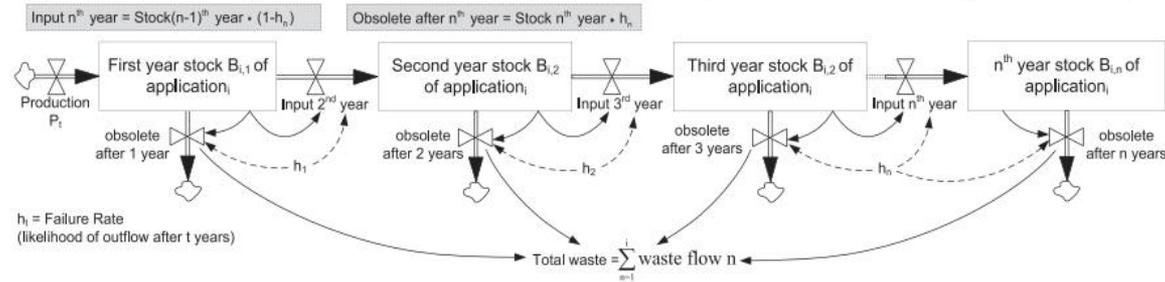
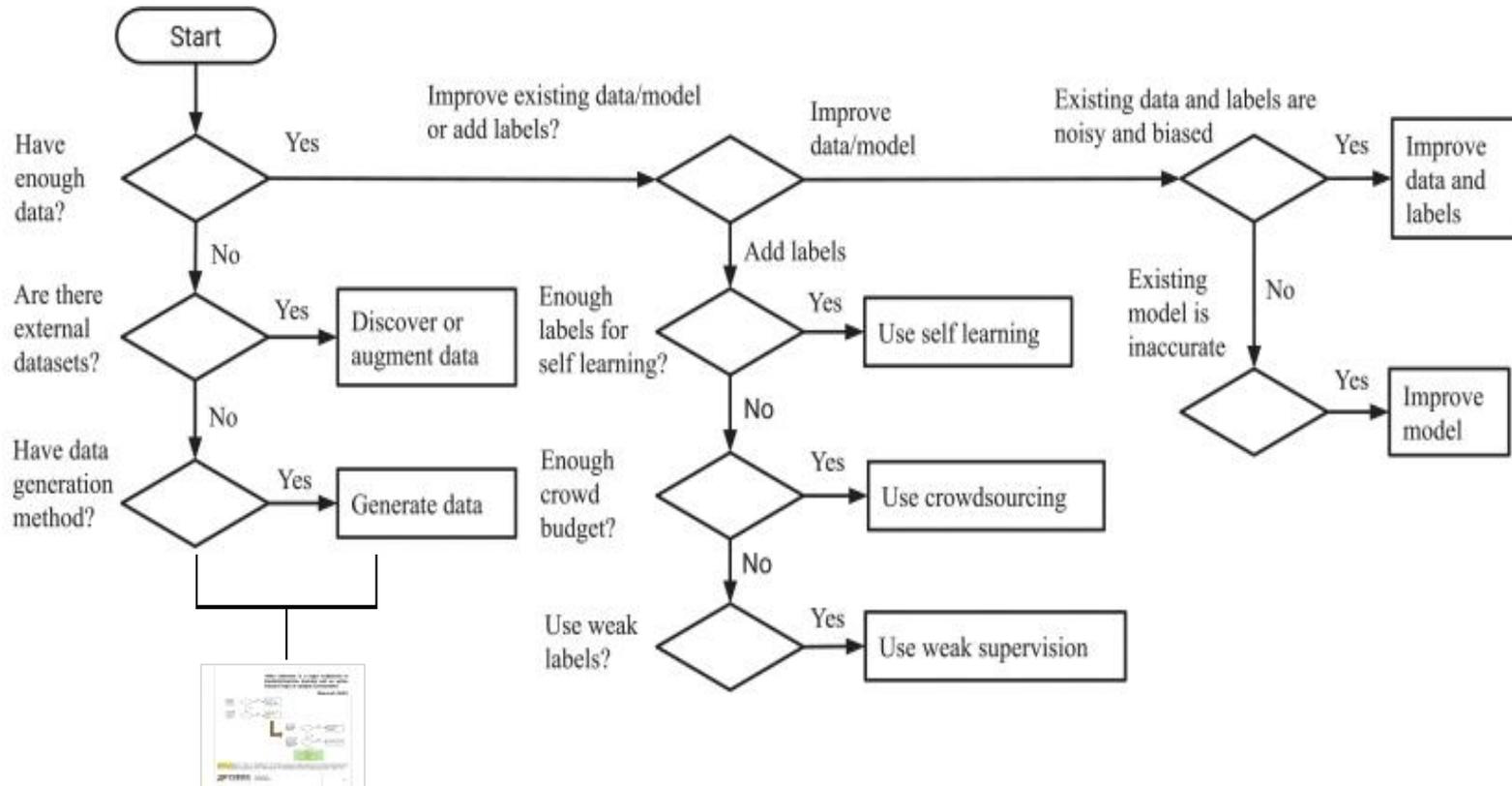


Fig. 2. Concept of an aging chain for detailed simulation of lifespans within a system dynamics environment (Glöser-Chahoud et al., 2017). While stock variables which accumulate material flows over a certain period of time are represented by boxes in the graphical surface of SD models, flow variables are shown as vessels comparable to flow sheets in process engineering. Additional information about the simulation technique is available in the supplementary materials to this publication.

Glöser-Chahoud, S., Pfaff, M., Walz, R., & Schultmann, F. (2019). Simulating the service lifetimes and storage phases of consumer electronics in Europe with a cascade stock and flow model. *Journal of Cleaner Production*, 213, 1313-1321.

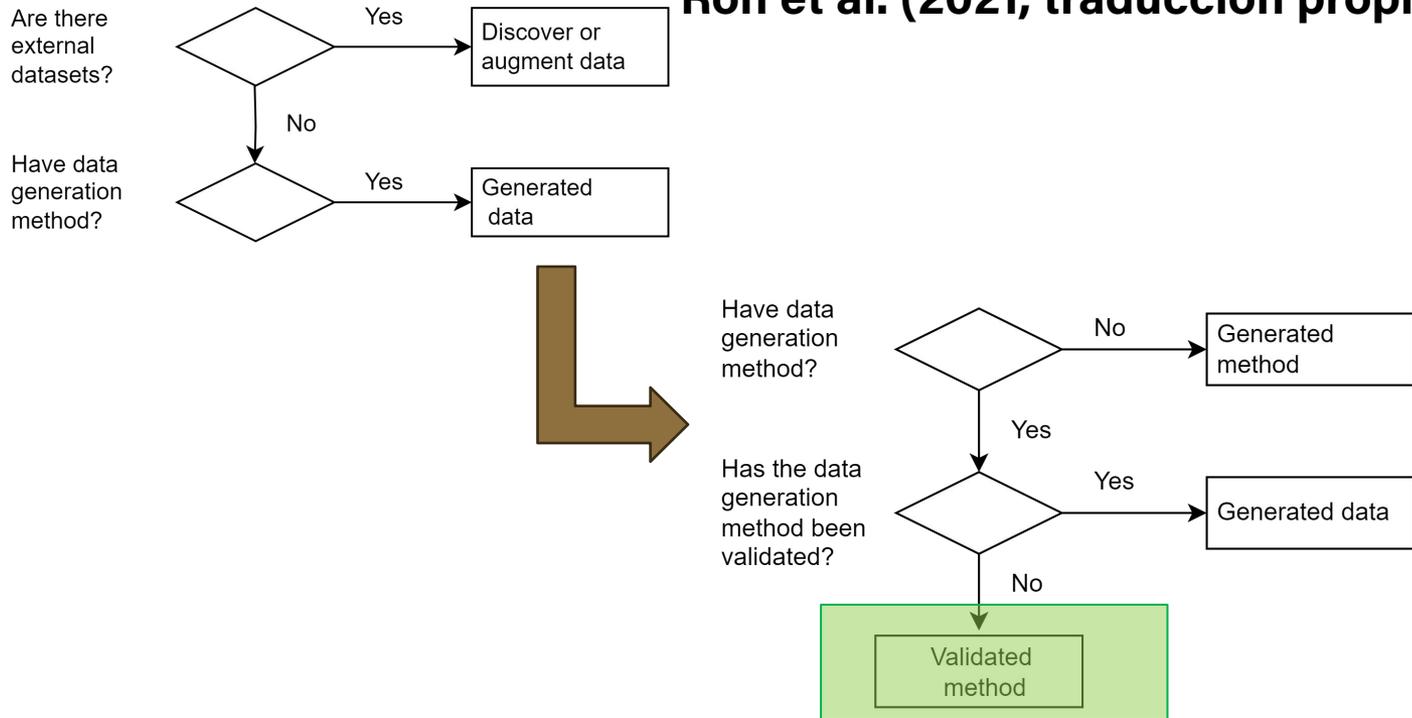
Proceso para desarrollo de Modelos y Maching Learning



Roh, Y., Heo, G., & Whang, S. E. (2019). A survey on data collection for machine learning: a big data-ai integration perspective. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 33(4), 1328-1347. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8862913>

“La recopilación de datos es un importante cuello de botella en modelos/*machine learning* y un tema de investigación activo en múltiples comunidades.”

Roh et al. (2021, traducción propia)



Adapted from Roh, Y., Heo, G., & Whang, S. E. (2019). A survey on data collection for machine learning: a big data-ai integration perspective. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 33(4), 1328-1347.

OBJETIVO DE INVESTIGACIÓN

Validar los datos de generación de RAEE durante la etapa de consumo comparando los datos de la encuesta con los datos de mediciones directas en los dispositivos de los usuarios y entrevistas.

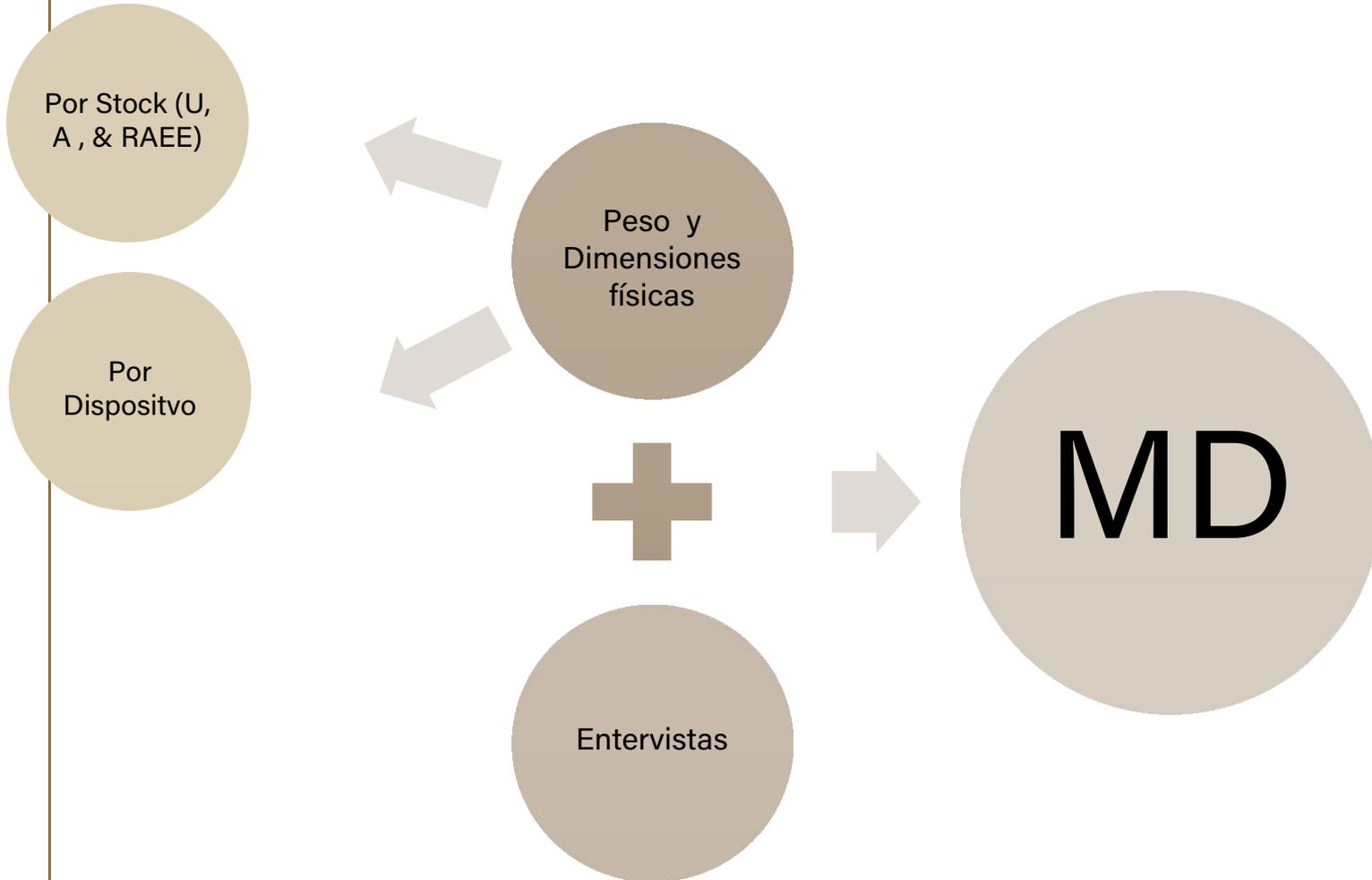
- Proporcionar una nueva metodología para la adquisición de datos en etapas de usuario que incluya datos cuantitativos y cualitativos combinando mediciones directas y datos de entrevistas.
- Identificar discrepancias o inconsistencias entre las dos fuentes de datos y explorar las razones detrás de estas diferencias.

OBJETIVO DE INVESTIGACIÓN

Validar los datos de generación de RAEE durante la etapa de consumo comparando los datos de la encuesta con los datos de mediciones directas en los dispositivos de los usuarios y entrevistas.

- **Proporcionar una nueva metodología para la adquisición de datos en etapas de usuario que incluya datos cuantitativos y cualitativos combinando mediciones directas y datos de entrevistas.**
- Indentificar discrepancias o inconsistencias entre las dos fuentes de datos y explorar las razones detrás de estas diferencias.

METODOLOGIA DE MEDICIÓN DIRECTA (MD)



Clasificación de electronicos por stock



Procedures for devices that are unable to be brought to campus



Use a measuring device (e.x., tape meter or ruler) to record the height, width and length of your device



Alternatively, use a measuring app* available in this link

<https://apps.apple.com/us/app/measure/id1383426740>

*App is available only for iPhone users



Take a picture of the service tag



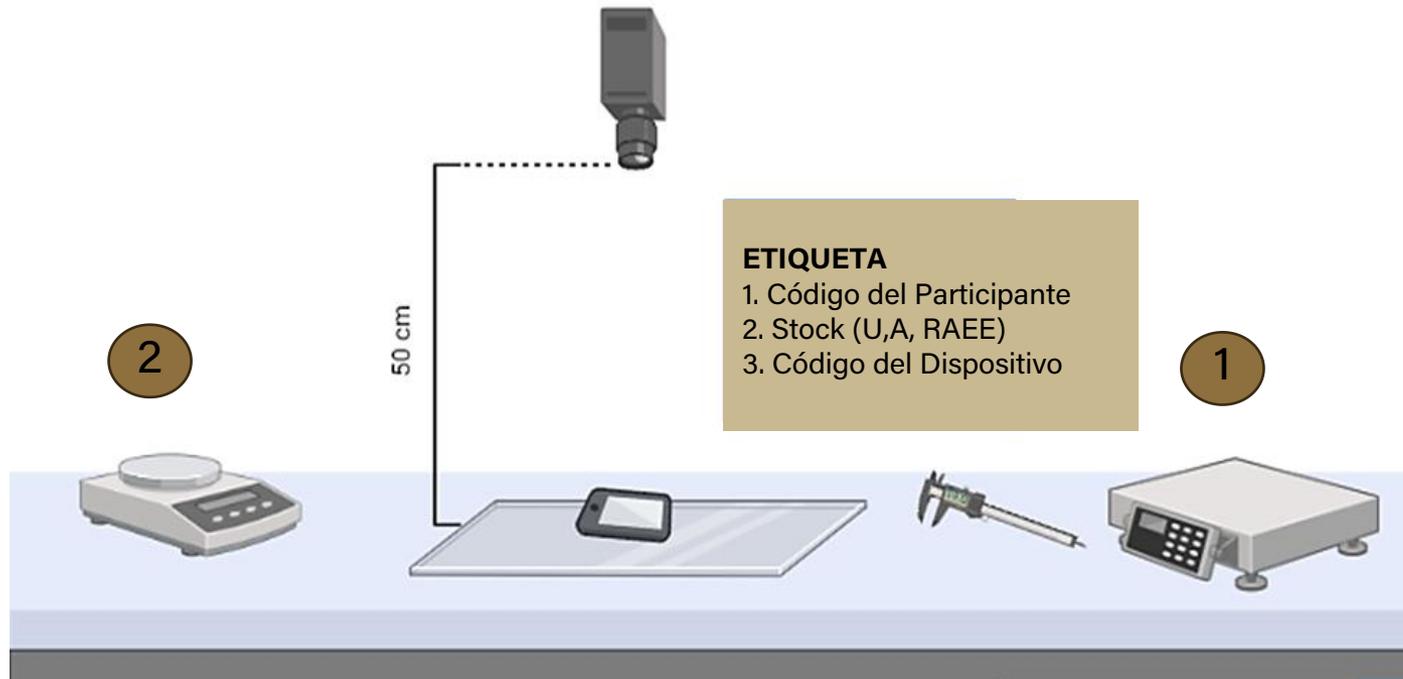
Upload the data on

https://purdue.ca1.qualtrics.com/jfe/form/SV_b8W720nmtKk67Lo

El peso no fue medido en algunos dispositivos

Laboratory layout to take direct measurements

1. Medida de todos los dispositivos por categoría (U, A, RAEE)
2. Medida por dispositivo de peso y dimensiones físicas



Categorías de análisis aplicadas en el diseño y codificación de NVivo



Categorías principales	Subcategorías
Metodología de Medidas Directas (MD)	Inconvenientes de MD Ventajas de MD
Cambios en Composición	Cambio de composición material (inclusión, exclusión de sustitución de algún elemento) Estuches y Protectores
Patrones de Transferencia	Años de uso de los dispositivos. Años de almacenamiento de los dispositivos. Razón de almacenamiento
Dispositivos de Segunda Mano	La funcionalidad de los dispositivos de segunda mano. Piezas faltantes o sobrantes de dispositivos de segunda mano
Comportamiento del Usuario/Consumidor	Conocimiento de los métodos de disposición. Razones para deshacerse Gestión de pieza adicional o faltante

RESULTADOS – MEDIDAS DIRECTAS

Dimensiones físicas y peso

- En el estudio se incluyeron 50 participantes, residentes del condado de Tippecanoe, IN.
- El número total de dispositivos reportados fue 578.
- El 69% de los dispositivos están en uso, el 24% en almacenamiento y el 7% al final de su vida útil.
- Diferencias en masa de MS respecto a otras referencias ($\bar{x} = 17,99$ g, $n=229$; $DE = 97,86$)
- La mayor diferencia fue para los teclados ($\mu=113,91$) y las cámaras digitales (90,14) y las diferencias más pequeñas fueron los teléfonos inteligentes ($\mu=3,28$) y un disco externo ($\mu=0,45$).

Tipos de Dispositivos Electrónicos

Blu-ray player	Smartphone
CRT monitor	Tablet
CRT TV	Traditional / integrated desktop
Digital camera / camcorder	Smartwatch
Drone	Calculator
DVD player	Console Controller
E-reader	Earbud (Wire)
Fitness tracker	External Hard Disk
Gaming console	Keyboard
MP3 player	Microphone
Netbook	Power Bank
VCR	Speakers/Smart speakers
Basic mobile phone	USB flash drive
Headphone	Wired Mouse
Laptop	Wireless Earbuds
LCD monitor	Wireless Mouse
LCD TV	Wifi Modem
LED monitor / LED TV	MicroSD
Plasma TV	Pencil
Printer	Other

	Category reported by Babbit et al (2020)
	Category reported by Gozun (2021)
	In both Babbit et al (2020) and Gozun (2021)
	New category (Not included by Gozun (2021) or Babbit et al. (2021))

- Se encontraron 15 categorías adicionales en los participantes, pero Gozun (2021) o Babbit et al no las informaron. (2020).
- El 22% de los dispositivos eran teléfonos inteligentes y portátiles (11,2 y 11,1)
- El 78% de los dispositivos se distribuyen en el resto de tipos con una participación media del 2,2%



Otros tipos de dispositivos electronicos

Projector
Tracker
Streaming device - *Device that allows connect TVs to streaming and gaming software
Mini-Screen; replacement parts
Radio recorder
Card reader
Timer remote shutter
Bass Amps/Amps
Raspberry Pi
GPS Bike
Trackpad
Radio Conair
3D Printer
Drawing Tablet

- Representa el 6% de los dispositivos electrónicos
- Cada uno de estos productos puede contener una variedad de materiales y componentes.

RESULTADOS – MEDIDAS DIRECTAS

Entrevista

- La duración media de las sesiones de entrevista fue de 10 min y 59 s.
- La transcripción de la entrevista consta de 192 páginas y 68.961 palabras.
- 2 categorías emergentes y 8 casos emergentes

Categorías Emergentes

Categorías Emergentes	Subcategorías
Definición de dispositivo No-Funcional	Hardware Software
Reparación	Barreras para reparación Cómo reparan los usuarios Motivación para reparar

Casos emergentes

Caso emergente	Descripción
Apple	El caso trata específicamente los aspectos mencionados por los participantes en relación con Apple. Por ejemplo, comentarios como “esta situación particular sólo ocurre con Apple y no con otras marcas” o preferencias personales como “tengo preferencia por el iPhone”. Estos son comentarios distintos que pertenecen a la marca.
Comportamiento atípico	El caso aborda comportamientos reportados singularmente con implicaciones significativas en el comportamiento de los consumidores de productos electrónicos, como personas que reutilizan una cámara digital como cámara web o personas que tienen dificultades para deshacerse de sus posesiones.
Adaptadores y Cables	Este caso engloba todos los aspectos relacionados con cables y adaptadores. Los participantes mencionaron varios temas, incluido tener varios cargadores o problemas de compatibilidad. También discutieron procesos de carga específicos de sus teléfonos y compartieron instancias donde almacenaron cargadores para diferentes situaciones. En general, la conversación cubrió consideraciones sobre el uso, el almacenamiento y el final de vida útil del cargador.
Opciones comerciales	Las opciones comerciales y de mercado se refieren a las diversas opciones disponibles en el mercado que permiten a los consumidores devolver, reemplazar, almacenar o ceder un producto para un uso secundario. Estas opciones engloban todos los artículos actualmente en circulación que tienen como objetivo alargar de alguna manera la vida útil del producto. Por ejemplo, un caso en el que cambias tu antiguo teléfono móvil y recibes un descuento por uno nuevo..
Earbuds/Auriculares	Este caso se refiere a lo que los participantes mencionaron con respecto a los escenarios en los que perdieron o extraviaron un solo auricular, discutieron sobre cómo guardar estuches para auriculares o usaron diferentes auriculares. También incluye discusiones sobre tiempos de reemplazo.
Aspectos Economicos	Este caso se refiere al análisis que realizan los consumidores para decidir si prefieren reemplazar o reparar un producto, abarcando las consideraciones costo-beneficio realizadas por cada participante. Se trata de evaluar los costos que influyen en el comportamiento de los participantes con respecto a los dispositivos electrónicos.
Gamers	Este caso demuestra que los jugadores exhiben un comportamiento diferente con respecto a sus dispositivos. Por ejemplo, tienden a reemplazar componentes internos con más frecuencia que los participantes que no son jugadores.
 <p>Software Especial PURDUE UNIVERSITY®</p>	<p>Este caso se refiere al comportamiento del consumidor al decidir si actualizar o reemplazar un dispositivo que está influenciado por factores como el uso de programas más complejos que requieren un mantenimiento adicional o un mayor rendimiento del dispositivo. Por ejemplo, CAD y MATLAB, entre otros.</p>

OBJETIVO DE INVESTIGACIÓN

Validar los datos de generación de RAEE durante la etapa de consumo comparando los datos de la encuesta con los datos de mediciones directas en los dispositivos de los usuarios y entrevistas.

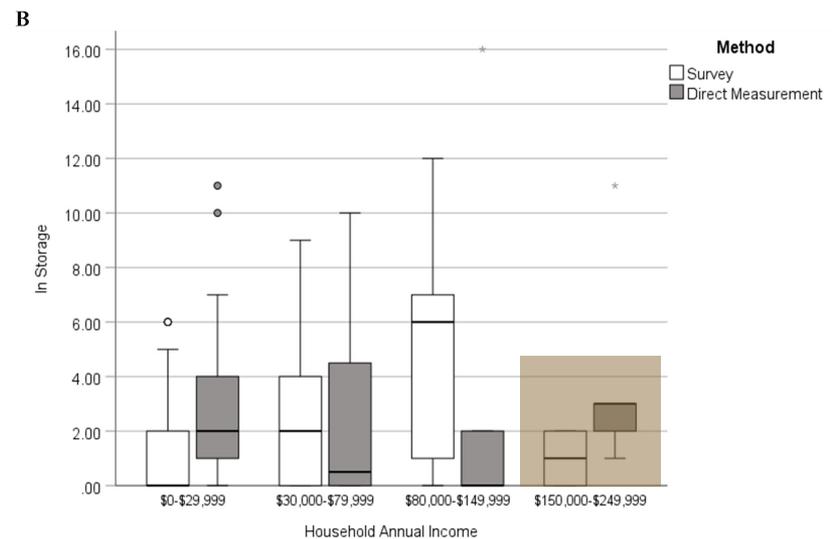
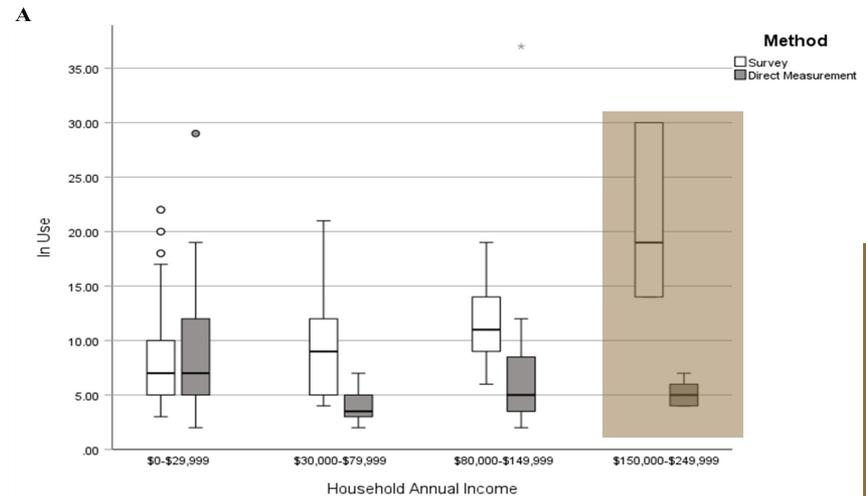
- Proporcionar una nueva metodología para la adquisición de datos en etapas de usuario que incluya datos cuantitativos y cualitativos combinando mediciones directas y datos de entrevistas.
- **Identificar discrepancias o inconsistencias entre las dos fuentes de datos y explorar las razones detrás de estas diferencias.**

1. Se encontraron correlaciones significativas entre el salario anual del hogar y los dispositivos en uso, almacenamiento y fin de vida útil.

- 0,32 para encuesta
- -0,32 para DM

2. Hubo evidencia estadística para afirmar que existe una diferencia significativa entre las medianas en la cantidad de dispositivos de los dos grupos.

- Las encuestas reportaron mayores cantidades de dispositivos en etapas de uso.
- Las mediciones dirigidas informaron mayores cantidades de dispositivos almacenados



¿Cuáles son las fortalezas y debilidades de cada metodología?

	Medidas Directas	Encuesta
+	<ul style="list-style-type: none">• Varios con participantes de interacciones.• La mayoría de los dispositivos fueron medidos directamente por la investigación (79%)	<ul style="list-style-type: none">• Método eficiente en el tiempo• Reduce las limitaciones logísticas• Fomentar la participación de los hogares con un mayor número de miembros
-	<ul style="list-style-type: none">• Dificultad para obtener DM de dispositivos compartidos (por ejemplo, módem Wi-Fi)• Barreras de transporte• Imposibilidad de tomar medidas o verificar modelos de dispositivos que los participantes ya desechan• Calidad de las imágenes subidas por los participantes.	<ul style="list-style-type: none">• Limitar la verificación de la existencia de los dispositivos.• Sesgo autoinformado (p. ej., los participantes pueden proporcionar información incompleta o inexacta debido a problemas de memoria).• Limitar la capacidad de los participantes para expresar pensamientos complejos o matizados.

INVESTIGACIÓN FUTURA

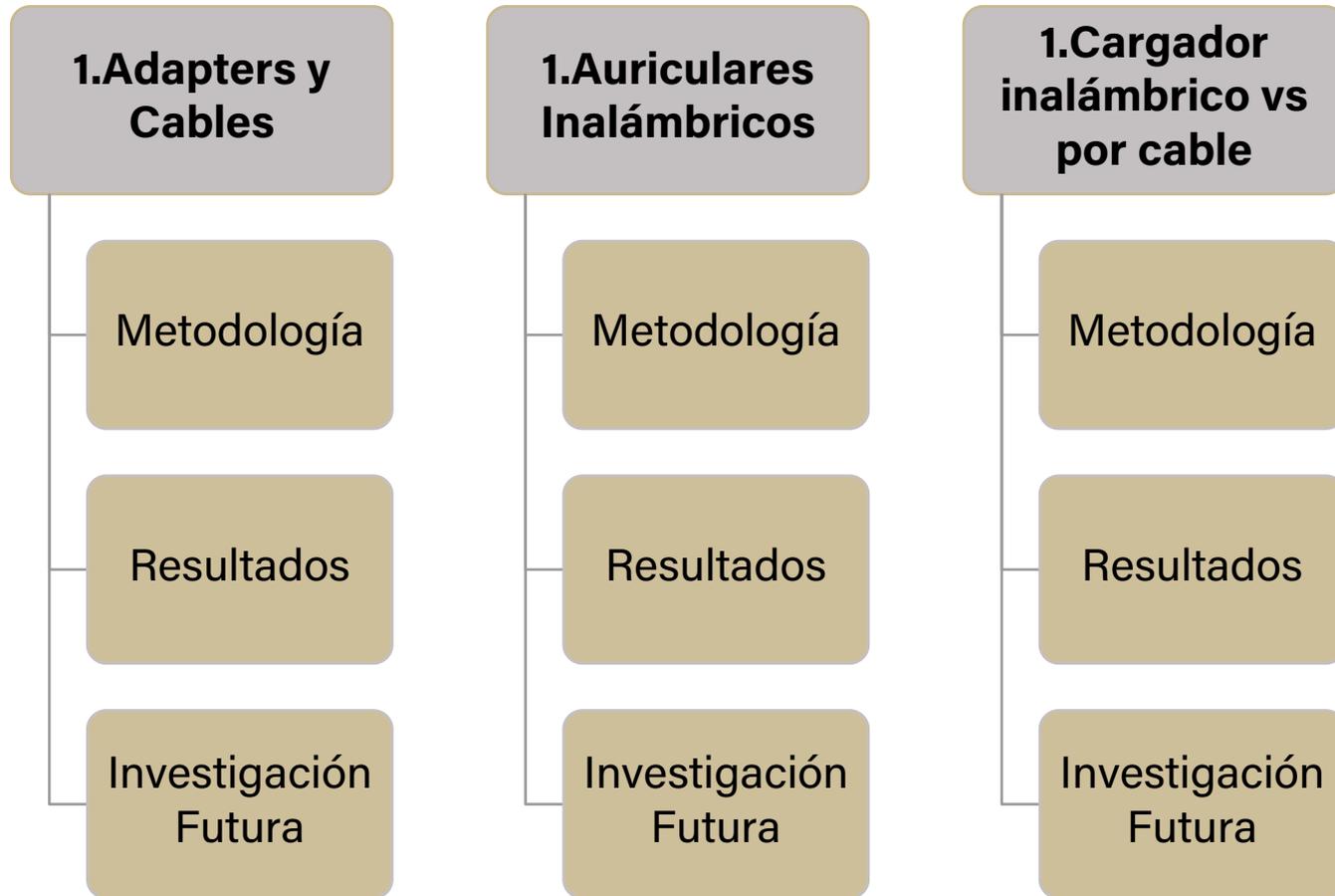
- Mejorar la foto-elicitación en DM y evaluar la foto-elicitación en encuestas.
- Recopilación de datos adicionales y estudios posteriores para describir factores y estimar posibles coeficientes de ajuste entre la masa de un producto nuevo versus uno usado.
- Integrar técnicas de análisis masivo en los procesos de automatización y desmontaje de residuos electrónicos (p. ej., detectar si se ha extraído el disco duro).
- La similitud geométrica entre dispositivos podría considerarse para la automatización durante los procesos de reciclaje, principalmente el uso de inteligencia artificial para identificar y clasificar diferentes dispositivos y componentes.

Casos emergentes

Caso emergente	Descripción
Apple	El caso trata específicamente los aspectos mencionados por los participantes en relación con Apple. Por ejemplo, comentarios como “esta situación particular sólo ocurre con Apple y no con otras marcas” o preferencias personales como “tengo preferencia por el iPhone”. Estos son comentarios distintos que pertenecen a la marca.
Comportamiento atípico	El caso aborda comportamientos reportados singularmente con implicaciones significativas en el comportamiento de los consumidores de productos electrónicos, como personas que reutilizan una cámara digital como cámara web o personas que tienen dificultades para deshacerse de sus posesiones.
Adaptadores y Cables	Este caso engloba todos los aspectos relacionados con cables y adaptadores. Los participantes mencionaron varios temas, incluido tener varios cargadores o problemas de compatibilidad. También discutieron procesos de carga específicos de sus teléfonos y compartieron instancias donde almacenaron cargadores para diferentes situaciones. En general, la conversación cubrió consideraciones sobre el uso, el almacenamiento y el final de vida útil del cargador.
Opciones comerciales	Las opciones comerciales y de mercado se refieren a las diversas opciones disponibles en el mercado que permiten a los consumidores devolver, reemplazar, almacenar o ceder un producto para un uso secundario. Estas opciones engloban todos los artículos actualmente en circulación que tienen como objetivo alargar de alguna manera la vida útil del producto. Por ejemplo, un caso en el que cambias tu antiguo teléfono móvil y recibes un descuento por uno nuevo..
Earbuds/Auriculares	Este caso se refiere a lo que los participantes mencionaron con respecto a los escenarios en los que perdieron o extraviaron un solo auricular, discutieron sobre cómo guardar estuches para auriculares o usaron diferentes auriculares. También incluye discusiones sobre tiempos de reemplazo.
Aspectos Economicos	Este caso se refiere al análisis que realizan los consumidores para decidir si prefieren reemplazar o reparar un producto, abarcando las consideraciones costo-beneficio realizadas por cada participante. Se trata de evaluar los costos que influyen en el comportamiento de los participantes con respecto a los dispositivos electrónicos.
Gamers	Este caso demuestra que los jugadores exhiben un comportamiento diferente con respecto a sus dispositivos. Por ejemplo, tienden a reemplazar componentes internos con más frecuencia que los participantes que no son jugadores.
 <p>Software Especial PURDUE UNIVERSITY®</p>	<p>Este caso se refiere al comportamiento del consumidor al decidir si actualizar o reemplazar un dispositivo que está influenciado por factores como el uso de programas más complejos que requieren un almacenamiento adicional o un mayor rendimiento del dispositivo. Por ejemplo, CAD y MATLAB, entre otros.</p>

***CASOS EMERGENTES DE CARGADORES Y
ADAPTADORES (C&A) EN ETAPA DE USO: ESTUDIO DE
CASO EN INDIANA***

CASOS EMERGENTES



ADAPTADORES Y CABLES

Metodología

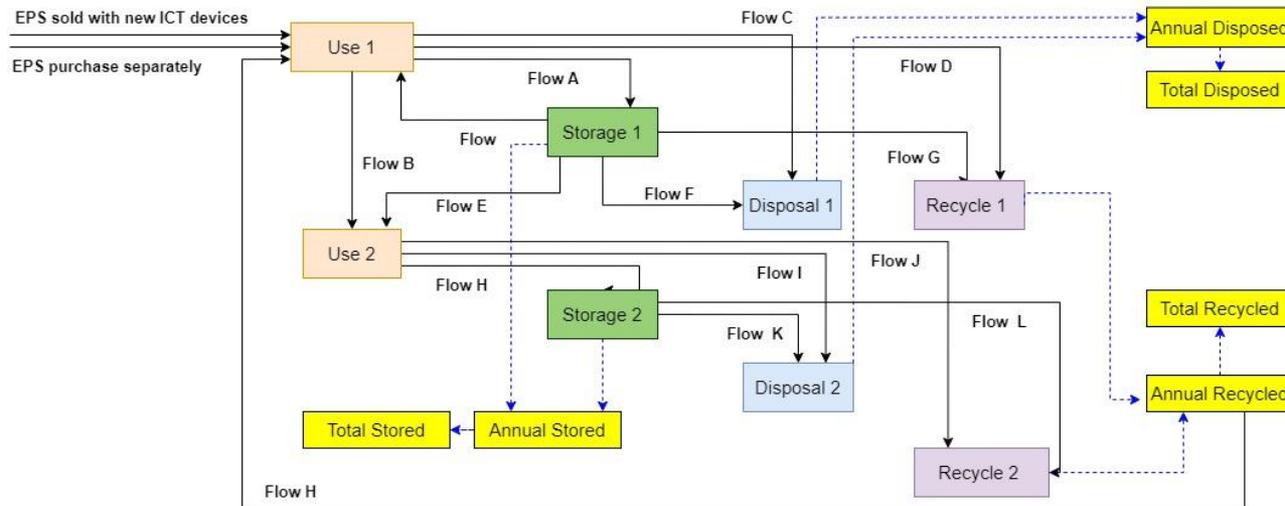
- Se aplicó la metodología MD.
- Los Cables y Adaptadores se categorizaron en tres: adaptador, cable y adaptador con cable, esta clasificación nos permite considerar los cables como elementos singulares cuando son separables de los adaptadores.

Resultados

- El número total de cargadores y adaptadores reportados fue 265.
- El 97% de la masa del cargador se tomó mediante mediciones directas en los laboratorios de Purdue, el 3% restante fue informado por los participantes.
- Los adaptadores de corriente tienen una participación del 58,34%, los cables el 39,01% y los cargadores inalámbricos representan el 2,65% del C&A.

Investigación Futura

- Los cables y adaptadores están 77 % en uso, 20 % en almacenamiento y 3 % EoL, con un promedio de 2,96 años en uso y 0,65 años en almacenamiento. De manera similar, el próximo stock planificado por el participante para algunos cables y adaptadores es 75 % en uso, 18 % en almacenamiento y 7 % EoL, lo que significa cambios no considerables para la transferencia de stock 3 o 6 meses después de la recopilación de datos.



AURICULARES INALÁMBRICOS

Metodología

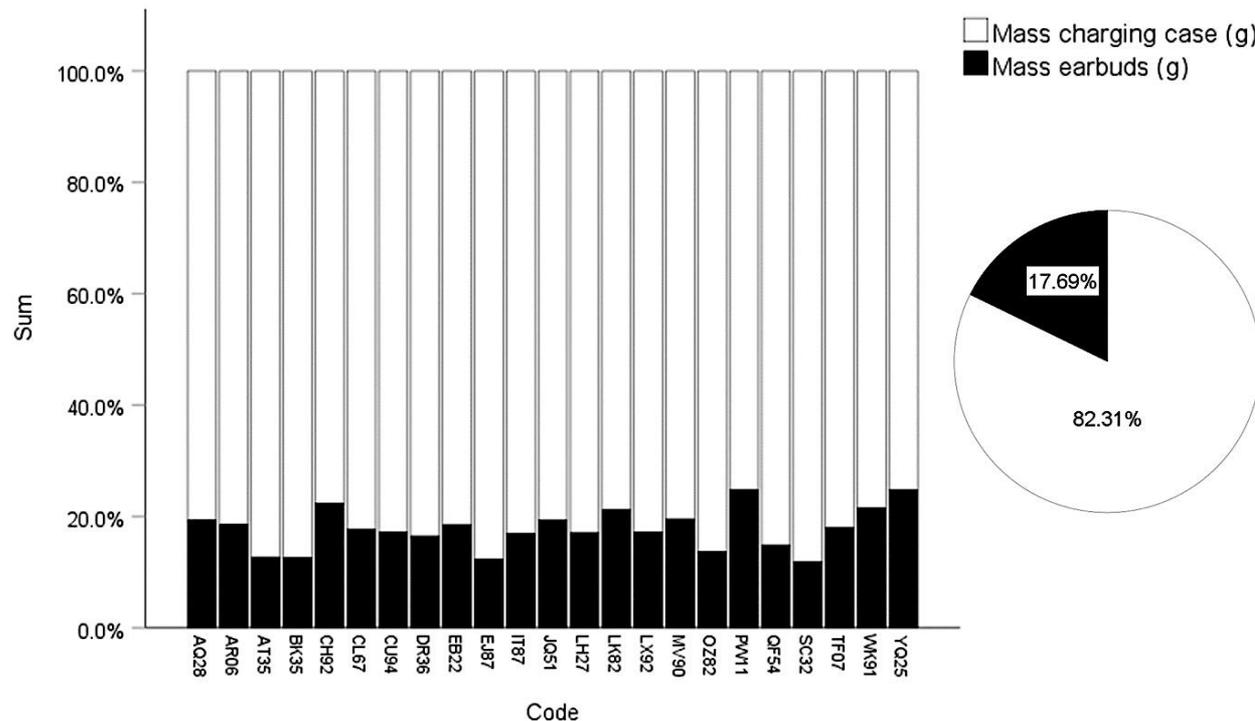
- Aplicó la metodología MD midiendo por separado los pesos de los auriculares y el estuche de carga.
- Para los casos de restricción de tiempo en la recopilación de datos, los componentes se midieron juntos y el peso de los auriculares informado por el fabricante se restó del peso total medido en el laboratorio.

Resultados

- Se descubrió que algunos participantes, cuando perdían uno de los auriculares, los reemplazaban por un juego completo nuevo en lugar del auricular faltante.
- No se informó ni se conoció ninguna opción en el mercado para la reparación de auriculares inalámbricos, el reemplazo de auriculares individuales o el estuche de carga.

Estuche de carga con relación de masa versus auriculares

- Relación de **4,9 masa del estuche de carga por masa del auricular**, que muestra la intensidad de masa de la carga para este tipo de dispositivo



CARGADOR INALÁMBRICO VS CON CABLE

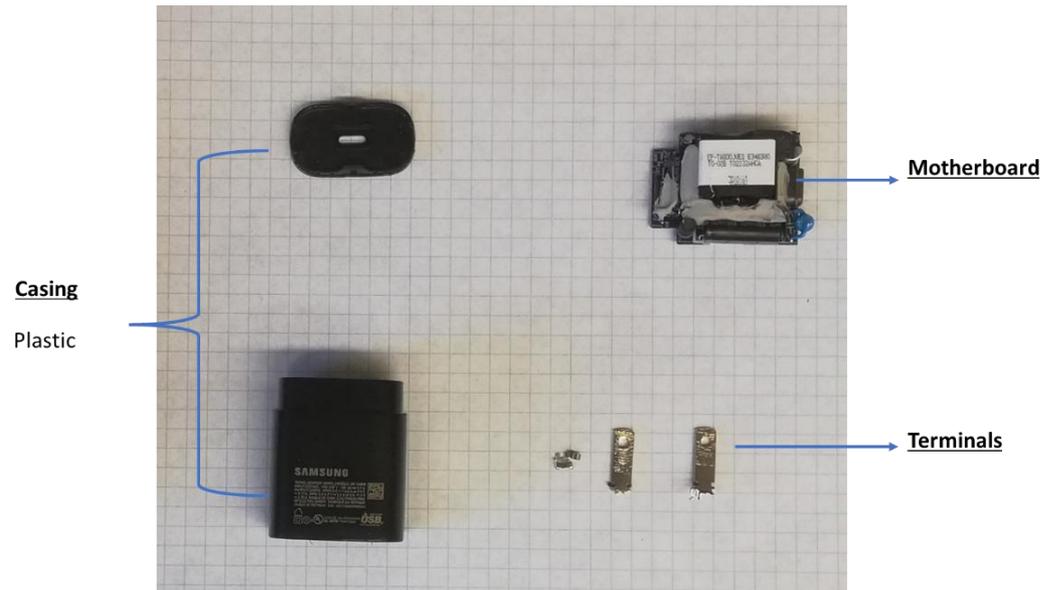
Metodología

- Medir el peso total de todo el conjunto del producto, seguido de desarmar y pesar los grupos de conjuntos principales.
- Cargador inalámbrico de carga rápida Samsung de 15 W Duo modelo EP-P5400, el conector USB-C no se incluyó en la comparación de masas.

Resultados

- El cargador inalámbrico tiene tres veces más masa que el cargador de pared.
- La distribución masiva por componente muestra que el 67% de la masa del cargador de pared es la placa base, mientras que en el inalámbrico la placa base representa el 12%.

Componentes	Masa Total (g)	%
Carcasa	15.44	28%
Terminales	3.01	5%
Tarjeta Madre	37.01	67%
		100%
Masa total por partes (g)	55.46	
Masa total inicial(g)	55.48	
Error	-0.04%	



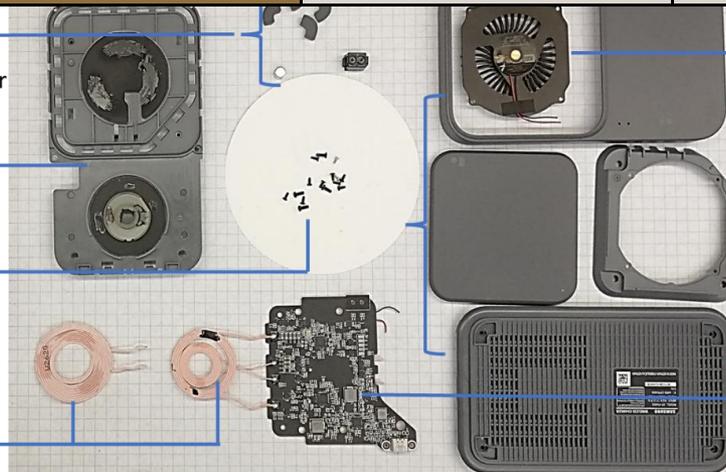
Componentes	Masa total(g)	%
Carcasa	114.70	68%
Tornillos	1.17	1%
Imán	1.28	1%
Tarjeta Madre	21.05	12%
Amplificador de luz	0.86	1%
Ventilador	16.35	10%
Bobinas	11.66	7%
Material desconocido	0.84	0%
Otros*	1.30	1%
		100%
Masa total por partes (g)	169.21	
Masa total inicial(g)	169.29	
Error	-0.05%	

Internal Parts

Magnet
Charging Light Amplifier
Others (tape,
Internal plastic layer)

Screw

Winding

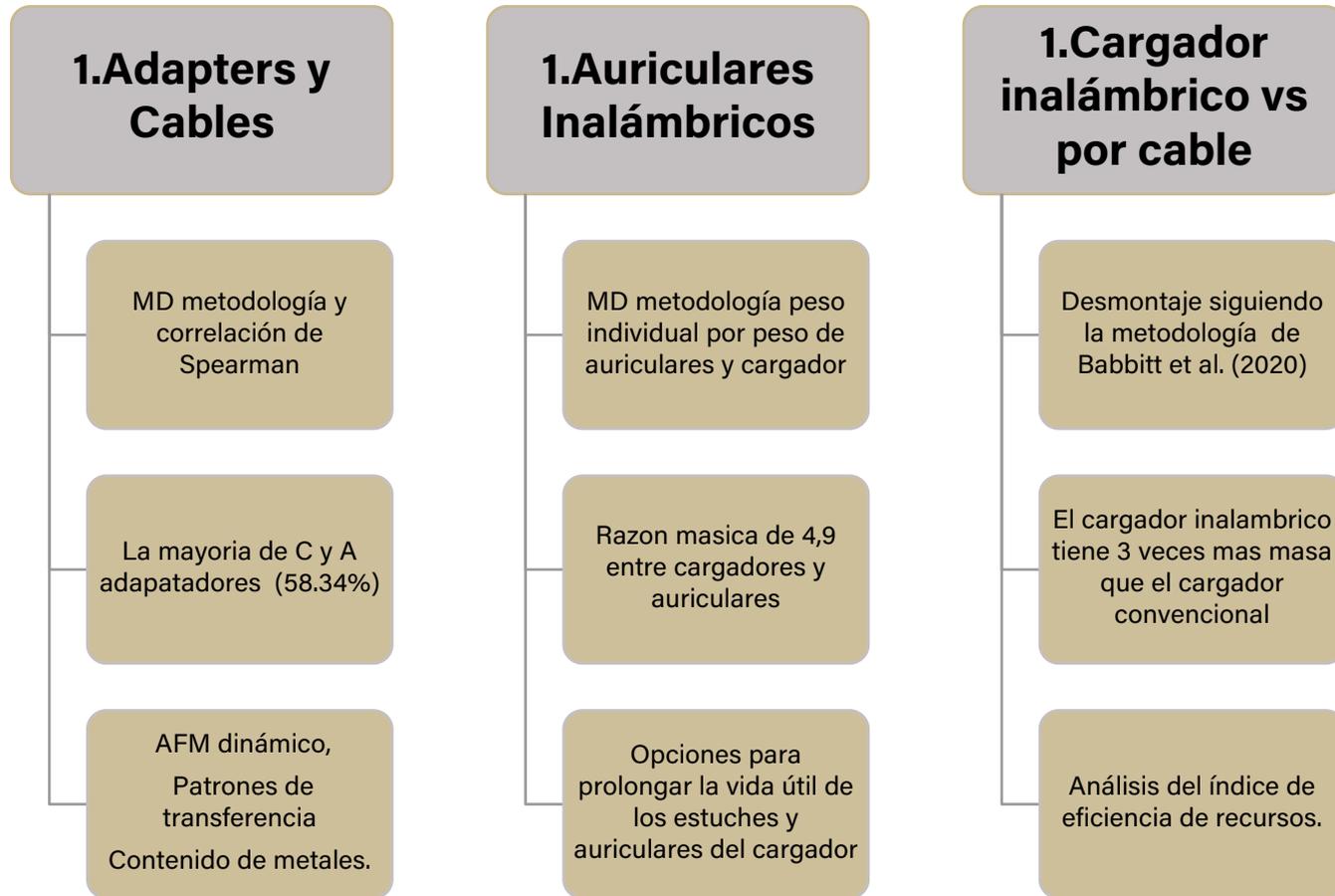


Fan

Casing
Plastic

Motherboard

CASOS EMERGENTES (C&A)



AGRADECIMIENTOS

- Gracias a mi Comite asesor por toda la ayuda durante mi experiencia en Purdue
- Gracias a los 50 participantes por su valiosa colaboración
- Gracias a mi equipo de investigación
 - Taymee Brandon
 - Matthew Gozun
 - Nabela Diwita
 - Tristin Pratt



- Agradecimientos especiales a Arturo Nuñez, por su ayuda en desensamble de dispositivos electronicos
- Gracias a David Moreno por su ayuda en estadísitca.

Ejemplo diapositivas reunión de orientación

Classify your electronics by stock

1. Group your devices according to the stocks describes as follows



In-Use

All the e-devices you use frequently and last use was less year.



On-Storage

All the e-devices you storage at home and you do not use the last year.



End of life

All the e-devices you have plans to discard in the next three months by recycling or another type of discarding method

2. Use separate boxes or bags for each category and label them accordingly

Grey Model / Modelo Gris

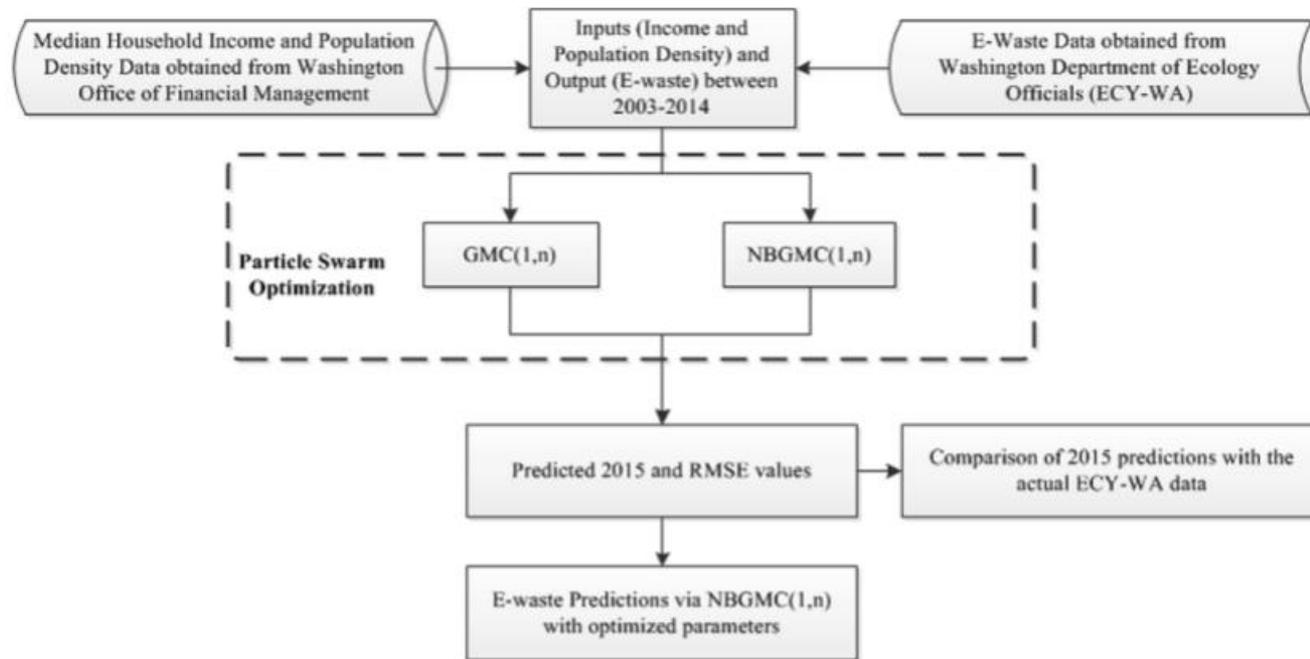


Fig. 1. The schematic representation of the research flow.

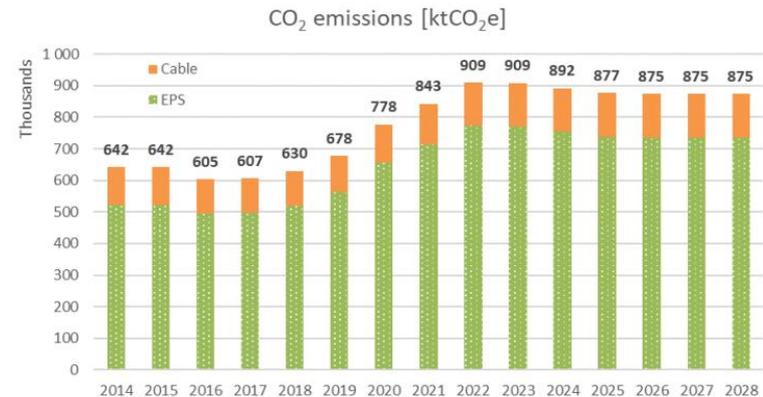
G. M. Duman, E. Kongar, and S. M. Gupta, "Estimation of electronic waste using optimized multivariate grey models," *Waste Management*, vol. 95, pp. 241-249, Jul. 2019, doi: 10.1016/J.WASMAN.2019.06.023.

JUSTIFICACIÓN



- Enfoque de modelo de stock aplicado a adaptadores con datos iniciales de ventas y encuestas.

- La mayor carga de impacto ambiental recae en los adaptadores de corriente (Fuente de alimentación externa - EPS)



Source: Stock model

European Commission. (2020). Impact Assessment Study on Common Chargers of Portable Devices. Luxembourg: Publications Office of the European Union.