

# UNIVERSIDAD DE CUENCA



## Facultad de Ciencias Químicas Carrera de Ingeniería Ambiental

### **“Análisis del flujo de materiales y evaluación del impacto ambiental de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Caso de estudio: teléfonos celulares en el cantón Cuenca”**

Trabajo de titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniero  
Ambiental

#### **Autores:**

Gabriela Carolina Sucozhañay Idrovo  
C.I. 0105386601

Iván Eduardo Vidal Vidal  
C.I. 0106435324

#### **Directora:**

Mgt. María Eulalia Peñafiel Tenorio

CI:0102608197

Cuenca – Ecuador

2019

## **Resumen**

En este estudio se utilizaron los residuos de teléfonos celulares para realizar una primera aproximación de la realidad de los RAEE en el cantón Cuenca y en el Ecuador. Para ello se elaboró un análisis de las dimensiones másica, ambiental y económica de los dispositivos. Posteriormente, utilizando una distribución normal se estimó la generación de residuos y, mediante un Análisis del Flujo de Materiales (MFA), se establecieron sus canales de disposición. Además, empleando un Análisis del ciclo de vida (ACV) se determinó un escenario de reciclaje idóneo y, finalmente, se compararon diferentes modelos de predicción utilizados en realidades latinoamericanas, aplicándolos al contexto ecuatoriano.

De los resultados se determinó que en promedio anualmente en el país se generan 2180470 unidades de residuos de teléfonos celulares, de las cuales alrededor de 78709 pertenecen al cantón Cuenca. Del total de estos residuos menos del 7% son recolectados mediante canales formales, un 10% son reparados o donados a un tercero y alrededor del 83% son almacenados en los hogares. Los elementos de mayor importancia en estos residuos son el oro y el paladio, debido a su valor económico y ambiental. Por otro lado, el escenario idóneo para su reciclaje supone realizar un pre-procesamiento manual a nivel local, y un procesamiento final de los PCBs en países industrializados. Finalmente, se determinó que resulta apropiado distribuir la generación de residuos a lo largo del tiempo, considerando que la cantidad de residuos generada en un año puntual se ve influenciada por el aporte proveniente de años anteriores.

## **Palabras clave:**

Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, teléfonos celulares, análisis del flujo de materiales, análisis del ciclo de vida, modelos de predicción.

**Abstract**

Discarded cell phones were used in this study in order to perform a first approximation of WEEE situation in canton Cuenca and Ecuador. For this purpose, an analysis of the average composition and the environmental and economic dimensions of a cell phone was carried out. Subsequently, using a normal distribution, the generation of waste was estimated and, through a Material Flow Analysis (MFA), their disposal channels were established. Furthermore, using a Life Cycle Assessment (LCA) an ideal recycling scenario was determined and, finally, different prediction models, used in Latino American realities, were compared applying them to the Ecuadorian context.

From the obtained results, it was determined that an average of 2180470 units of cell phone are discarded every year in Ecuador, of which about 78709 belong to canton Cuenca. Of the total amount of waste, less than 7% are collected through formal channels, 10% are repaired or donated to a third party and around 83% are stored in households. The most important elements in this waste are gold and palladium, due to its economic and environmental value. Furthermore, the ideal scenario for recycling of cell phones results of combining a manual pre-processing in Ecuador with an end-processing for PCBs in industrialized countries. Finally, it was determined that it is appropriate to distribute the generation of waste over the time, considering that the amount of waste generated in a specific year is influenced by the contribution of previous years.

**Keywords:**

Waste of electrical and electronic equipment, cell phones, material flow analysis, life cycle assessment, prediction models.



## Índice

Resumen.....	1
Abstract.....	2
1    Introducción.....	16
2    Marco teórico y estado del arte .....	18
2.1    Aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) .....	18
2.2    Obsolescencia en los AEE .....	19
2.3    Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) .....	19
2.4    Composición de los RAEE.....	20
2.5    Gestión de los RAEE .....	20
2.6    Minería urbana .....	21
2.7    Evaluación de impacto ambiental .....	22
2.7.1    Matriz de Leopold.....	22
2.7.2    Método de Battelle-columbus.....	22
2.7.3    Matriz de Conesa.....	23
2.7.4    Análisis del ciclo de vida.....	23
2.8    Análisis de flujo de materiales (MFA).....	25
2.9    Modelos de predicción .....	27
3    Metodología.....	30
3.1    Composición de un teléfono celular.....	32
3.2    Dimensión Ambiental .....	37
3.3    Dimensión Económica .....	42
3.4    Análisis multidimensional.....	47
3.5    Estimación de la generación de residuos de teléfonos celulares.....	49
3.5.1    Volumen de ingreso de Teléfonos celulares en el Ecuador.....	49
3.5.2    Volumen de ingreso de teléfonos celulares en el cantón Cuenca.....	51
3.5.3    Generación de residuos de teléfonos celulares en el Ecuador.....	52

3.5.4	Generación de residuos de teléfonos celulares en el cantón Cuenca. ....	55
3.6	Análisis del flujo de materiales .....	56
3.6.1	Recolección informal. ....	56
3.6.2	Recolección formal. ....	57
3.6.3	Gestores nacionales. ....	59
3.6.4	Gestores internacionales. ....	59
3.6.5	Flujo de materiales de los residuos de teléfonos celulares en el Ecuador. ....	60
3.7	Análisis del ciclo de vida .....	61
3.7.1	Definición del objetivo y el alcance .....	62
3.7.2	Análisis del inventario .....	64
3.7.3	Evaluación de impacto .....	67
3.8	Valoración económica .....	67
3.9	Revisión bibliográfica de modelos de predicción .....	68
3.9.1	Método del paso de tiempo (Time step) .....	69
3.9.2	Método de la oferta del mercado (Market supply) .....	69
3.9.3	Carnegie Mellon University .....	69
3.9.4	Método de la Distribución retardada (Distribution Delay) .....	70
3.9.5	Método de uso y consumo (Consumption and use) .....	70
3.9.6	Análisis del flujo de Materiales .....	71
3.10	Revisión bibliográfica de modelos de predicción en América Latina .....	73
3.10.1	México .....	73
3.10.2	Colombia .....	73
3.10.3	Perú .....	74
3.10.4	Chile .....	74
3.10.5	Brasil .....	75
3.11	Aplicación de modelos de predicción utilizados en Latinoamérica para el Ecuador .....	78

3.12	Análisis de Sensibilidad .....	79
4	Resultados y Discusión.....	80
5	Conclusiones.....	84
6	Recomendaciones .....	85
	Referencias.....	86
	Anexos .....	99
	Anexo 1 .....	99
	Anexo 2 .....	102
	Anexo 3 .....	104
	Anexo 4 .....	105
	Anexo 5 .....	107

### Índice de Figuras

Figura 1.	Esquema metodológico .....	31
Figura 2.	Composición estimada para el iPhone 6: Pantalla.....	33
Figura 3.	Composición estimada para el iPhone 6: Batería.....	34
Figura 4.	Composición estimada para el iPhone 6: PCB .....	36
Figura 5.	Impacto ambiental de un iPhone 6 (mPts): Pantalla.....	38
Figura 6.	Impacto ambiental de un iPhone 6 (mPts): Batería.....	39
Figura 7.	Impacto ambiental de un iPhone 6 (mPts): PCB .....	41
Figura 8.	Estimación del valor económico para el iPhone 6 .....	42
Figura 9.	Estimación del valor económico para el iPhone 6: Pantalla .....	43
Figura 10.	Estimación del valor económico para el iPhone 6: Batería.....	44
Figura 11.	Estimación del valor económico para el iPhone 6: PCB.....	46
Figura 12.	Estimación del valor económico para el iPhone 6: Carcasa y Otros.....	46
Figura 13.	Análisis multidimensional: elementos de un iPhone 6.....	48
Figura 14.	Generación estimada de residuos de teléfonos celulares en el Ecuador 2012-2018 .....	54
Figura 15.	Generación estimada de residuos de teléfonos celulares en el cantón Cuenca 2012-2018 .....	56

Figura 16. Flujo de materiales de los residuos de teléfonos celulares en el Ecuador para el periodo 2012-2017 .....	61
Figura 17. Fases de un análisis del ciclo de vida .....	62
Figura 18. Diagrama del proceso: Escenario 1 .....	63
Figura 19. Diagrama del proceso: Escenario 2 .....	64
Figura 20. Diagrama del proceso: Escenario 3 .....	64
Figura 21. Evaluación del impacto ambiental de los tres escenarios propuestos (mPts) .....	67
Figura 22. Evaluación económica de los tres escenarios propuestos (\$).....	68
Figura 23. Resultados obtenidos para la estimación de residuos de teléfonos celulares, aplicando modelos utilizados en países latinoamericanos .....	79
Figura 24. Análisis de sensibilidad de la generación de residuos de teléfonos celulares.....	80

## Índice de Tablas

Tabla 1. Categorías de los aparatos eléctricos y electrónicos.....	18
Tabla 2. Cantidades de residuos provenientes de teléfonos celulares, Filipinas. ....	29
Tabla 3. Ajuste de los elementos (Al, Si, Sn) a la composición del iPhone 6.....	32
Tabla 4. Composición estimada para el iPhone 6: Pantalla.....	33
Tabla 5. Composición estimada para el iPhone 6: Batería .....	33
Tabla 6. Composición estimada para el iPhone 6: PCB .....	34
Tabla 7. Composición estimada para el iPhone 6: Carcasa y Otros .....	37
Tabla 8. Composición estimada para el iPhone 6 por componentes .....	37
Tabla 9. Impacto ambiental de un iPhone 6 (mPts:) Pantalla.....	38
Tabla 10. Impacto ambiental de un iPhone 6 (mPts): Batería .....	38
Tabla 11. Impacto ambiental de un iPhone 6 (mPts): PCB .....	40
Tabla 12. Impacto ambiental de un iPhone 6 (mPts): Carcasa y Otros .....	41
Tabla 13. Impacto ambiental (mPts) de un iPhone 6.....	42
Tabla 14. Estimación del valor económico para el iPhone 6.....	42
Tabla 15. Estimación del valor económico para el iPhone 6: Pantalla.....	43
Tabla 16. Estimación del valor económico para el iPhone 6: Batería .....	44

Tabla 17. Estimación de valor económico para el iPhone 6: PCB .....	45
Tabla 18. Estimación del valor económico para el iPhone 6: Carcasa y Otros .....	46
Tabla 19. Análisis multidimensional: elementos de un iPhone 6 .....	47
Tabla 20. Importaciones y exportaciones de teléfonos celulares en el Ecuador para el período 2011-2017 .....	49
Tabla 21. Estadísticas de tenencia celular en el Ecuador para el período 2010-2017 ....	50
Tabla 22. Número de usuarios en el Ecuador que adquieren un teléfono celular por primera vez y que lo reemplazan en el período 2011-2017 .....	50
Tabla 23. Per cápita de tenencia de un teléfono celular activado y de flujo neto de teléfonos celulares en el Ecuador para el periodo 2011-2017 .....	51
Tabla 24. Número de usuarios en el cantón Cuenca que adquieren un teléfono celular por primera vez y que lo reemplazan en el período 2011-2017.....	51
Tabla 25. Probabilidad de la distribución normal .....	53
Tabla 26. Cantidad de residuos de teléfonos celulares (unidades) en el Ecuador para los años 2017 y 2018 .....	53
Tabla 27. Cantidad de residuos de teléfonos celulares (unidades) en el Ecuador para el período 2012- 2018.....	54
Tabla 28. Cantidad de residuos de teléfonos celulares (unidades) en el cantón Cuenca para los años 2017 y 2018.....	55
Tabla 29. Cantidad de residuos de teléfonos celulares (unidades) en el cantón Cuenca para el período 2012-2018 .....	55
Tabla 30. Datos oficiales del MAE sobre recolección de residuos de teléfonos celulares para el periodo 2013-2018 .....	59
Tabla 31. Flujo de materiales de los residuos de teléfonos celulares en el Ecuador para el periodo 2012-2017 .....	61
Tabla 32. Eficiencias de pre-procesamiento y procesamiento final: Escenario 1 .....	65
Tabla 33. Impacto ambiental generado y evitado (mPts): Escenario 1 .....	65
Tabla 34. Eficiencias de pre-procesamiento y procesamiento final: Escenario 2 .....	66
Tabla 35. Impacto ambiental generado y evitado (mPts): Escenario 2 .....	66





Tabla 36. Eficiencias de procesamiento final: Escenario 3 .....	66
Tabla 37. Impacto ambiental generado y evitado (mPts): Escenario 3 .....	67
Tabla 38. Evaluación económica de los tres escenarios propuestos (\$) .....	68
Tabla 39. Matriz de resumen sobre modelos de predicción de RAEE .....	72
Tabla 40. Escenarios utilizados en el modelo de predicción de Ott (2008).....	74
Tabla 41. Matriz de resumen sobre modelos de predicción de RAEE en países latinoamericanos .....	76
Tabla 42. Modelos seleccionados para su replicación en la realidad nacional .....	78
Tabla 43. Resultados obtenidos para la estimación de residuos de teléfonos celulares, aplicando modelos utilizados en países latinoamericanos .....	78
Tabla 44. Análisis de sensibilidad de la generación de residuos de teléfonos celulares	80

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio  
Institucional

---

Gabriela Carolina Sucozhañay Idrovo en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Análisis del flujo de materiales y evaluación del impacto ambiental de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Caso de estudio: teléfonos celulares en el cantón Cuenca", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 16 de enero del 2019



---

Gabriela Carolina Sucozhañay Idrovo

C.I: 0105386601

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio  
Institucional

---

Iván Eduardo Vidal Vidal en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Análisis del flujo de materiales y evaluación del impacto ambiental de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Caso de estudio: teléfonos celulares en el cantón Cuenca", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 16 de enero del 2019



Iván Eduardo Vidal Vidal

C.I:0106435324

#### Cláusula de Propiedad Intelectual

Gabriela Carolina Sucozhañay autora del trabajo de titulación "Análisis del flujo de materiales y evaluación del impacto ambiental de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Caso de estudio: teléfonos celulares en el cantón Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de la autora.

Cuenca, 16 de enero del 2019



Gabriela Carolina Sucozhañay Idrovo

C.I: 0105386601

#### Cláusula de Propiedad Intelectual

Iván Eduardo Vidal Vidal autor del trabajo de titulación "Análisis del flujo de materiales y evaluación del impacto ambiental de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Caso de estudio: teléfonos celulares en el cantón Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad del autor.

Cuenca, 16 de enero del 2019



Iván Eduardo Vidal Vidal

C.I:0106435324



## *Dedicatoria*

*A María Eugenia y Carlos mis padres, a Iván y Juan Carlos mis hermanos y a Carmen y Aida, mis queridas tías. Por todo el apoyo brindado, por ser un soporte en mi vida y creer en mí en todo momento.*



## *Dedicatoria*

*A mis padres, Carmen y Marcelo, mis hermanos Paúl y Andrea y mi sobrino Erick, por haberme apoyado a lo largo de mi carrera universitaria. A mis amigos, amigas y todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo.*

## *Agradecimiento*

*A Paul Vanegas, por compartir con nosotros su experiencia y conocimiento, por brindarnos su amistad, confianza y apoyo, y por cada comentario encaminado a mejorar nuestro trabajo.*

*A nuestra tutora la Ing. María Eulalia Peñafiel, por la confianza depositada en nosotros y el soporte recibido.*

*A Ismael Izquierdo y Gustavo Pacheco, por su interés en este trabajo, por los debates, las sugerencias y opiniones, y por “romperse la cabeza” junto a nosotros en busca de soluciones. Ustedes muchachos son excelentes amigos y grandes ingenieros.*

*A Loli Sucozhañay, por su amistad, sus sugerencias y comentarios, por incluirnos en las diferentes actividades del departamento y por salvarnos de una sustentación con “100 diapositivas”.*

*A todos quienes forman parte del proyecto “Enhancing the social value of the circular economy in Latin America”, es grato conocer a personas como ustedes que verdaderamente impulsan el desarrollo del conocimiento.*

*Finalmente, agradecemos a todos los amigos y colegas que se vieron involucrados o interesados en el desarrollo de este trabajo de titulación.*



## 1 Introducción

El estilo de vida moderno se ha visto fuertemente influenciado por la introducción de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE). Estos han cambiado la manera en la que el ser humano interactúa, se comunica, entretiene y aprende. Sin embargo, su utilización ha incrementado sustancialmente la generación de residuos. En el 2016 la generación global de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) se estimó en 44,7 millones de toneladas, y se espera que esta cifra incremente hasta 52,2 millones de toneladas para el 2021, con una tasa de crecimiento anual del 3 al 4% (Baldé, Forti, Gray, Kuehr, & Stegmann, 2017). En el Ecuador se estima que la generación acumulada de RAEE alcanzará las 200 000 toneladas para el 2020, incrementándose en un 72.7% con respecto al 2013 (Delunay & Montero, 2013).

Los teléfonos celulares son los AEE más vendidos (Huisman, Magalini, Kuehr, & Maurer, 2007) y al mismo tiempo uno de los dispositivos con la tasa más baja de recolección (Polák & Drápalová, 2012). De acuerdo a los datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2018), presentados en el apartado de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC'S) de la Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo, el número de usuarios de teléfonos celulares en el Ecuador para el 2017 fue de aproximadamente 8.6 millones, de los cuales el 81.6% corresponden a smartphones. En ese mismo año, datos proporcionados por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL, 2017) revelaron la existencia de aproximadamente 15 millones de líneas activas.

La gestión de RAEE en el país obedece a las regulaciones legales específicas. En el 2013 entró en vigencia, mediante el acuerdo ministerial N° 190, la política nacional de post consumo de AEE en desuso, basada en las capacidades nacionales de manejo y la legislación nacional aplicable y, mediante el acuerdo ministerial N° 191, el instructivo para el reciclaje de celulares (MAE, 2012a). Pese a ello, la gestión de estos residuos es casi inexistente y su disposición final es incierta (Delunay & Montero, 2013)

En Cuenca, el manejo de RAEE se ha visto impulsado por iniciativas emprendidas por la Empresa Pública Municipal de Aseo (EMAC. EP), que en su programa de reciclaje promueve la separación y aprovechamiento de algunos de estos residuos. Además, se ha implementado un “Punto Limpio” de reciclaje, para recolectar aquellos residuos que no pueden ser eliminados a través de los servicios convencionales de recolección de basura

y estimular el reciclaje. Pese a ello, aún no existe una gestión adecuada, ni un tratamiento apropiado para estos residuos (EMAC, 2014)

Para desarrollar un sistema de gestión efectivo de RAEE es necesario conocer la cantidad de equipos que son descartados a lo largo del tiempo e identificar los canales por los que circulan hasta su disposición (Ott, 2008). Esta información permite definir la estructura del sistema, facilitando la identificación de los principales actores y proporcionando la base para el diseño de una infraestructura adecuada (Baldé et al., 2017).

Estimar el flujo de materiales de los RAEE permite además la evaluación de los impactos ambientales, sociales y económicos asociados a la naturaleza de sus componentes y a su disposición final (Sivaramanan, 2013). Además, para la adopción de estrategias relacionadas a la recolección, almacenamiento, reciclaje y disposición de los RAEE es necesaria la proyección de posibles escenarios futuros. La utilización de modelos de predicción ayuda a la toma de decisiones, garantizando la recuperación de materiales valiosos para la industria y la reducción de impactos en el ambiente y la salud de las personas (Ahmed, Makkar, & Sharma, 2014).

A continuación, se describen los objetivos del estudio.

#### Objetivo general

- Realizar un análisis de flujo de materiales y evaluación de impacto ambiental de los residuos provenientes de los teléfonos celulares en el cantón Cuenca.

#### Objetivos específicos

- Determinar la composición de los residuos de teléfonos celulares.
- Estimar los volúmenes de residuos provenientes de teléfonos celulares.
- Establecer el flujo de materiales para teléfonos celulares.
- Determinar el impacto ambiental ocasionado por la disposición de teléfonos celulares.
- Mediante revisión bibliográfica, analizar diferentes modelos de predicción para la generación de residuos electrónicos

## 2 Marco teórico y estado del arte

### 2.1 Aparatos eléctricos y electrónicos (AEE)

En este grupo se engloban a “todos aquellos aparatos que requieran de corriente eléctrica o campos electromagnéticos para su funcionamiento, además de los aparatos necesarios para generar, medir y transmitir dichas corrientes y campos, destinados a utilizarse con una tensión nominal no superior a 1000 voltios en corriente alterna y 1500 voltios en corriente continua” (Parlamento Europeo, 2003). Desde el 15 de agosto del 2018 la directiva de la Unión Europea clasificó los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) en 6 categorías (Parlamento Europeo, 2018) como se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1. *Categorías de los aparatos eléctricos y electrónicos.*

Categoría	Descripción
1	Equipos de intercambio de temperatura.
2	Pantallas, monitores y equipos con pantallas de una superficie superior a 100 cm <sup>2</sup> .
3	Lámparas.
4	Equipos grandes (dimensión mayor a de 50 cm), sin incluir los equipos de las categorías 1,2 y 3.
5	Equipos pequeños (dimensión inferior a 50 cm), sin incluir el equipo de las categorías 1 a 3 y 6.
6	Pequeños equipos informáticos y de telecomunicaciones (dimensión inferior a 50 cm).

Fuente: Parlamento Europeo (2018).

Dentro de los AEE se ofrece una amplia gama de productos destinados a facilitar las actividades cotidianas de la población, para las que se designa cada vez más recursos económicos (Rodrigues, 2006). Existe también una gran demanda de equipos por parte del sector industrial; incluida la generación de energía, transporte, automatización, calefacción y refrigeración, iluminación y cables de transmisión (Renn et al., 2015). En este contexto, el acelerado desarrollo tecnológico ha impulsado la venta de AEE en el mercado global y hoy en día se figura como una de las industrias de mayor crecimiento mundial (Renn et al., 2015), lo que traduce también en una mayor generación de residuos (Rodrigues, 2006).

## 2.2 Obsolescencia en los AEE

La vida útil de los productos es cada vez más corta con respecto a épocas pasadas. En la actualidad, la vida útil de los AEE está determinada desde el momento de su fabricación, con el fin de mantener las ventas y generar mayores ingresos para las industrias. De esta manera los usuarios sienten la necesidad de reemplazar sus equipos por considerarlos cada vez más viejos, sin ser conscientes de la cantidad de energía y recursos requeridos para su fabricación; de los impactos generados durante las diferentes etapas de manufactura y transporte, ni de la toxicidad o biodegradabilidad de distintos materiales presentes en los AEE. En años anteriores estos equipos eran adquiridos con la idea de ser cuidados y, de presentarse alguna falla, ser reparados. Hoy la cultura de reparación prácticamente ha desaparecido, pues resulta más rentable adquirir un equipo nuevo. De esta manera el actual sistema económico y de producción no se ajusta al equilibrio y armonía natural. (Tabares & Cardona, 2015).

De acuerdo a Vega (2012), las empresas buscan que sus productos circulen en el mercado manejando principalmente tres conceptos:

- Obsolescencia de función: un producto pasa de moda cuando aparece otro de mayor rendimiento.
- Obsolescencia programada: un producto es fabricado con tiempo de vida útil corto.
- Obsolescencia percibida: un producto funcional es percibido como obsoleto en la mente del usuario, debido a una modificación o mejora en el diseño de las nuevas generaciones

## 2.3 Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)

Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos se han convertido en un problema global. Debido a la presencia de componentes tóxicos, su manejo inadecuado puede causar graves daños al medio ambiente y a la salud de las personas. Los RAEE suponen también una fuente potencial de materiales valiosos para la industria, especialmente si se considera que el agotamiento de los recursos es un problema global. Sin embargo, grandes cantidades de residuos son exportados cada año hacia países en vías de desarrollo, en donde la falta de fondos para la construcción de una infraestructura adecuada, la ausencia de un marco legal apropiado y el crecimiento del reciclaje informal, ha ocasionado un problema socio-ambiental complejo. Como resultado, es común ver la quema a cielo

abierto de plásticos para reducir el volumen de los RAEE y así extraer algunos metales valiosos como el cobre, o lixiviación ácida para la recuperación de metales preciosos como el oro; actividades que intensifican los impactos ambientales y amenazan la salud de quienes las realizan. (Herat & Agamuthu, 2012).

## **2.4 Composición de los RAEE**

Los RAEE son complejos en su composición y no tienen flujos homogéneos. Constan de una gran cantidad de elementos que difieren en tamaños y formas (Cui & Forssberg, 2003). Pueden contener más de 1000 diferentes sustancias, que caen en categorías "no peligrosas" y "peligrosas", siendo estas últimas las que deben eliminarse para un tratamiento separado. Dependiendo de factores como el tipo de dispositivo, el modelo, el fabricante, la fecha de elaboración y la edad de los residuos, su composición puede verse alterada (UNEP, 2007). Dado que el potencial de reciclado de RAEE es específico para cada artefacto, las piezas encontradas en ellos se han dividido de manera general en seis categorías:

- Hierro y acero
- Metales no ferrosos
- Vidrio
- Plástico
- Componentes electrónicos
- Otros (goma, madera, cerámica, etc.)

El hierro y el acero constituyen alrededor del 50% de los residuos, seguidos de plásticos (21%), metales no ferrosos (13%) y otros componentes (UNEP, 2007). Además, se puede encontrar elementos como arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb), mercurio (Hg), materiales retardantes de llama y otros componentes químicos tóxicos. Un teléfono celular, por ejemplo, está compuesto por más de 40 elementos entre los que se encuentran metales básicos como cobre (Cu) y estaño (Sn); metales especiales tales como litio (Li) cobalto (Co), indio (In) y antimonio (Sb); y metales preciosos como plata (Ag), oro (Au) y paladio (Pd). Esta complejidad en su composición evidencia la necesidad de una gestión y manejo adecuado para estos residuos (Mmereki, Li, Baldwin, & Hong, 2016).

## **2.5 Gestión de los RAEE**

Diferentes experiencias sobre la gestión de RAEE se han llevado a cabo en países desarrollados. Su importancia radica en la capacidad de recuperación de materiales

valiosos para el reciclaje, la recuperación de energía y la reducción de enfermedades e impactos ambientales (Tchobanoglous & Kreith, 2002).

Suiza fue el primer país en el mundo en crear y administrar un sistema de gestión oficial. La normativa legal para su regulación se estableció mediante una ordenanza en 1998 y permitió la creación de los dos sistemas de reciclaje que se encuentran operando en la actualidad (Swiss Federal Office for the Environment, 1998). El primero gestiona equipos electrónicos como computadoras, televisores o radios, mientras que el segundo sistema gestiona equipos eléctricos como lavadoras, refrigeradores y hornos. Los usuarios entregan sus equipos obsoletos a través de puntos específicos de recolección, empresas minoristas o llevándolos directamente hasta los sitios de reciclaje. Los materiales son llevados hasta las instalaciones de desmontaje, en donde son desensamblados y desinfectados antes de su trituración. Posteriormente se clasifican en vidrio, plástico, aluminio, acero y cobre, principalmente, para luego ser trasladados hasta refinerías o fundidoras. Los materiales que no pueden ser recuperados son utilizados para la generación de energía mediante incineradores y generalmente menos del 2% termina en rellenos sanitarios (Gaidajis, Angelakoglou, & Aktsoglou, 2010).

Japón es otro país que ha conseguido gestionar eficientemente los RAEE. El éxito de su sistema de reciclaje se debe a la disciplina de los pobladores frente a las regulaciones y a la responsabilidad social y ambiental existente. La ley define tarifas que los consumidores pagan para devolver los equipos en desuso, e impone sanciones estrictas por su incumplimiento. Los RAEE son captados a través de 380 puntos específicos de recolección y son transportados hasta instalaciones de desmontaje, en donde se planea el desensamblado reduciendo resinas plásticas en los equipos y reutilizando sus componentes. La legislación además ordena a los fabricantes a recuperar sus productos después de que hayan sido descartados por sus últimos dueños (Gaidajis et al., 2010).

## **2.6 Minería urbana**

Una de las alternativas más viables para gestión de RAEE resulta de la recuperación de metales valiosos como el oro, la plata o el paladio mediante la llamada minería urbana. En ella se busca desensamblar los equipos en sus componentes principales para luego, mediante métodos físicos y químicos, aislar los metales de interés (Zeng, Mathews, & Li, 2018). Así, un modelo de economía circular (estrategia para reducir la cantidad de residuos y al mismo tiempo mantener los materiales valiosos de forma cíclica en la cadena

de producción), resulta fundamental para reducir la presión sobre los recursos vírgenes, con miras hacia el desarrollo sostenibles (Arora, Paterok, Banerjee, & Saluja, 2017).

## **2.7 Evaluación de impacto ambiental**

Es el proceso técnico-administrativo utilizado para la identificación, evaluación y descripción de los impactos ambientales asociados a un proyecto específico, si llegara a ser ejecutado. Busca establecer un equilibrio entre el desarrollo de la actividad humana y el Medio Ambiente, impidiendo sobreexplotaciones del medio natural sin ser un freno al desarrollo (Conesa, 1993).

Diversas metodologías se han desarrollado al respecto, intentando sistematizar el proceso de evaluación y establecer una métrica estandarizada que facilite la interpretación de los resultados. Algunas de ellas se describen a continuación:

### **2.7.1 Matriz de Leopold.**

Fue el primer método para la evaluación de impactos ambientales en establecerse. Funciona a través de un sistema de doble entrada en donde las columnas representan las acciones que pueden alterar el entorno y las filas los factores ambientales que se pueden alterar. Los impactos son evaluados considerando dos factores: magnitud e importancia. La magnitud se expresa en una escala de 1-10 y puede ser positiva o negativa dependiendo del efecto que genere en el medio ambiente. Por otro lado, la importancia define el peso relativo que tiene el factor ambiental considerado en una escala de 1-10. Los resultados se obtienen de la multiplicación de estos dos factores y pueden ser expresados en un rango de -100 hasta +100 (Leopold, Clarke, Hanshaw, & Balsley, 1971).

### **2.7.2 Método de Battelle-columbus.**

Fue desarrollado por un grupo interdisciplinario del laboratorio del mismo nombre. Se utilizan índices de calidad ambiental (CA) para jerarquizar los impactos, mediante una escala de 0-1. Estos valores se multiplican posteriormente por unidades de importancia (UIP) asignadas, existiendo un total de 1000 puntos distribuibles, y se obtienen las unidades de impacto ambiental (UIA). Los resultados se suman, se comparan y se expresan en diferentes señales de alerta (Dee et al., 1973).

### 2.7.3 Matriz de Conesa.

Vicente Conesa Fernández formuló una matriz de causa-efecto que analiza diez parámetros. Estos a su vez establecen una serie de atributos, que al reemplazarlos en la ecuación propuesta por el autor otorgan un resultado numérico, que corresponde a la importancia del impacto. Los valores obtenidos se encuentran en un rango de 0-100 y pueden corresponder a cuatro categorías de impacto: irrelevantes, moderados, severos o críticos (Conesa, 1993).

Las metodologías anteriormente descritas presentan una serie de desventajas debido a la subjetividad con la que se considera los impactos y a que la mayoría de parámetros de entrada son cualitativos. En este sentido, las normas internacionales ISO 14040 y 14044 sugieren la utilización del Análisis del Ciclo de Vida como una metodología estandarizada para la evaluación de impactos ambientales, así como los lineamientos para su aplicación.

### 2.7.4 Análisis del ciclo de vida.

Es una metodología utilizada para evaluar los impactos ambientales asociados a productos o servicios. Permite identificar y cuantificar la energía y materiales empleados desde el momento en que se extraen los componentes de la naturaleza hasta que regresan a ella como residuos (Arduin, Charbuillet, Berthoud, & Perry, 2017). Una de las métricas más precisas utilizadas en el Análisis del ciclo de vida (ACV) son los Ecopoints o ecopuntos, los cuales reflejan el impacto ambiental de los materiales y los procesos que atraviesan hasta convertirse en productos y ser dispuestos como desechos. Cuanto mayor sea el puntaje, mayor será el impacto ambiental. Los resultados obtenidos son útiles en la toma de decisiones políticas y en el mejoramiento del sistema de gestión ambiental de las empresas (Sharaai, Noor, & Sulaiman, 2012).

El ACV se ha utilizado en numerosos estudios de RAEE, tal es el caso de Brasil en 2014, donde se realizó un estudio de ACV para teléfonos celulares considerando dos escenarios. El primero consideró la situación actual del país, en la cual las baterías eran recicladas y los componentes restantes subcontratados a empresas europeas. El segundo escenario consideró una propuesta para el tratamiento completo de los desechos. Los resultados mostraron que para el segundo escenario el impacto ambiental es menor, con una potencial reducción del 60% en acidificación, 35% en oxidación fotoquímica, 30% para eutrofización y 20% del uso de energías no renovables. Además, se previeron beneficios



socioeconómicos como resultado de la venta de materiales y la generación de empleos (Moraes, Rocha, & Ewald, 2014).

Utilizando la misma metodología se llevaron a cabo dos estudios en China en el 2015 y 2017. El primero de ellos pretendía identificar elementos claves para el mejoramiento del reciclaje de RAEE, evaluando dos escenarios: el primero consideraba la disposición final de los desechos y el segundo carecía de ella. Los resultados evidenciaron una reducción del impacto potencial a la salud de las personas, la oxidación fotoquímica, la ecotoxicidad en el agua y el suelo y la eutrofización y ecotoxicidad marina para el primer escenario (Hong, Shi, Wang, Chen, & Li, 2015). El segundo estudio utilizó la fuente de alimentación (PSU) de computadoras de escritorio y el refrigerador como objetos de estudio. Se consideraron tres escenarios: reutilización de unidades, reutilización de componentes y recuperación de materiales. La PSU tiene un ritmo de innovación tecnológico lento, por lo que se concluyó que su reutilización es la medida más adecuada para reducir el impacto ambiental asociado (cambio climático, acidificación, eutrofización y consumo de combustibles fósiles). Sin embargo, el refrigerador ha mejorado mucho su eficiencia energética en los últimos años, por lo que utilizar el aparato durante dos años para posteriormente recuperar sus materiales y adquirir uno de nueva generación, resulta ser la mejor alternativa (Lu, Song, Yang, & Yang, 2017).

De manera similar un grupo de investigadores de la Universidad Amity en Gurgaon, India, realizó un ACV de teléfonos celulares en el 2017 de acuerdo a los procesos y procedimientos establecidos en la norma ISO 14000. Los resultados obtenidos evidencian la causa de los mayores impactos ambientales en cada fase analizada, teniendo los siguientes:

- En la fase de fabricación, el consumo de energía.
- En la fase de uso del dispositivo, la potencia consumida por el cargador.
- Durante la fase de transporte, el transporte aéreo.

La extracción de materiales para la elaboración de teléfonos celulares y la fase de ensamblaje, representan aproximadamente el 60% de la energía requerida; mientras que en la etapa de uso se ocupa del 29% al 35% de energía (L. Kumar, Shyam, Batra, & Saxena, 2017).

Un estudio semejante se realizó en el 2017 en Francia, para evaluar los impactos asociados en la etapa final del ciclo de vida de las Tablets. Se analizaron tres escenarios:

uno optimista, considerando que los dispositivos eran reciclados en su totalidad; uno realista, utilizando los canales de reciclaje existentes; y un tercer escenario pesimista. Se trabajó además con las siguientes categorías de impacto: contribución al calentamiento global, toxicidad en humanos, ecotoxicidad en cuerpos de agua dulce, utilización de recursos minerales, fósiles y renovables. Los resultados fueron comparados con los impactos generados en la producción con materias primas vírgenes, revelando que las actividades de reciclaje resultan tener un impacto menor en la mayoría de categorías evaluadas, aunque con un alto consumo energético (Arduin et al., 2017).

En la revisión bibliográfica no se encontraron estudios relacionados con ACV de RAEE en el Ecuador. Sin embargo, la Norma Técnica Ecuatoriana INEN-ISO 14040 para la gestión ambiental, proporciona los principios y el marco de referencia metodológico para la aplicación del ACV. En este contexto, en el país se han realizado distintos estudios que aplican esta metodología, para la evaluación de la industria pesquera del atún (Avadí, Bolaños, Sandoval, & Ycaza, 2015), así como para una comparativa del desempeño ambiental en la generación de energía utilizando combustibles en motores de combustión interna y en centrales térmicas de vapor (Ramirez, Boero, & Melendres, 2015).

## **2.8 Análisis de flujo de materiales (MFA)**

El MFA es una metodología basada en la Ley de conservación de la materia y la energía, en donde la suma de todas las entradas del sistema debe ser igual a la suma de las salidas. Proporciona una visión completa de la arquitectura del sistema por el que circula un material determinado y las interacciones con el entorno que se generan durante este proceso, permitiendo la vinculación de las actividades humanas con el medio ambiente. Diversos estudios alrededor del mundo han empleado esta metodología como una herramienta para el diseño y adopción estratégica de medidas de gestión, encaminadas a la sostenibilidad (Allesch & Brunner, 2017).

En el año 2006 en Beijing, China, se utilizó MFA para modelar la cantidad de desechos electrónicos que provienen de hogares urbanos y así facilitar la planificación y estructuración del sistema de recolección necesario. Se empleó el método de “suministro de mercado” considerando el más idóneo para este estudio, debido a que no es posible una definición precisa sobre el consumo de AEE en un hogar común en Beijing, a causa del incremento en la adquisición de ciertos equipos, el crecimiento de su población y el avance de la urbanización. Los resultados revelaron diferentes canales de disposición para

los RAEE, donde el 63.3% de los desechos eran vendidos a recolectores informales y pequeñas asociaciones, el 26.1% es reusado, el 7.1% se almacena en la casa del propietario y el 3.5% es directamente descartado (Liu, Tanaka, & Matsui, 2006).

Experiencias similares se han llevado a cabo en Hong Kong en diferentes años. En el 2013 se realizó un estudio para cinco diferentes AEE, con el objetivo de proporcionar información sólida al gobierno local para la implementación de un sistema de recolección de los residuos. Dos encuestas fueron realizadas en este estudio para obtener información sobre la generación y reciclaje de RAEE. En una de las encuestas se entrevistó a los hogares directamente para obtener información sobre sus preferencias de eliminación y otra fue dirigida a los comerciantes involucrados en la recolección de residuos de los hogares de Hong Kong. Los resultados obtenidos revelaron que el 80% de los desechos son vendidos a recolectores privados, alrededor de 65 000 toneladas anuales se exportan y más de 7 000 toneladas terminan en el relleno sanitario (Lau, Chung, & Zhang, 2013). En el 2017 se realizó un estudio para analizar información sobre el flujo de teléfonos celulares al final de su vida útil y contribuir con la planificación y administración de estos desechos. De manera similar al caso anterior, se emplearon dos encuestas. La primera estuvo dirigida a hogares en 18 distritos y la segunda a comerciantes de residuos electrónicos y organizaciones no gubernamentales implicadas en la recolección de teléfonos móviles (Deng, Giesy, So, & Zheng, 2017).

Los resultados mostraron que:

- La cantidad de teléfonos celulares excede el número de familias encuestadas, la media de teléfonos per cápita en Hong Kong es 1.2.
- El número promedio de teléfonos abandonados por usuario al año es de 0.521; es decir, aproximadamente un dispositivo cada dos años.
- En los hogares encuestados cerca del 65% mencionaron que venden sus teléfonos móviles obsoletos en el mercado para su reciclaje, poco menos del 20% indicaron que generalmente pasan estos dispositivos a parientes o amigos, y 16.7% que los tiran a la basura.

Los comerciantes encuestados mencionaron que el 15% de los teléfonos son aptos para la reventa, el 40% permite la extracción de partes útiles y el 45% se vende como RAEE (Deng et al., 2017).

Así mismo, en Nigeria se llevó a cabo un estudio sobre teléfonos celulares y el flujo de materiales que estos generan cuando son descartados. Se analizaron principalmente metales preciosos y metales pesados en las diferentes etapas de su ciclo de vida como base para el desarrollo de un sistema de gestión efectivo de residuos y recursos. Las cantidades fueron calculadas utilizando el software STAN 2, que modela el flujo de los materiales de acuerdo a la Norma Austriaca S 2096 (Babayemi, Osibanjo, & Weber, 2016).

La densidad de líneas activas aumentó drásticamente de 0.43% en el 2001 a un 83% para el 2013. En el transcurso de ese período se importaron alrededor de 54 050 toneladas de teléfonos celulares, de los cuales el 23.54% se encontraban en uso y el 76.46% estaba almacenado en los hogares. Las prácticas de reciclaje en el país son realizadas por el sector informal, el cual consiste en el desmontaje manual, la recuperación de piezas de repuesto y la quema abierta para eliminar el plástico y la obtención de algunos metales. Estas actividades recuperan el 30% de materiales, mientras el 70% restante termina en vertederos (Babayemi et al., 2016).

Mediante revisión bibliográfica no se pudo encontrar estudios relacionados a la gestión de desechos en el Ecuador. Sin embargo, el análisis del flujo de materiales se ha utilizado para analizar la dimensión ecológica dentro de la economía nacional en el período de 1970-2007 (Vallejo, 2010), así como también para contribuir a la implementación de un manejo integrado y sostenible de los recursos en la isla Santa Cruz, del Archipiélago de Galápagos (Cecchin, 2017).

## **2.9 Modelos de predicción**

Los modelos de predicción son técnicas comúnmente utilizadas en la realización de un análisis predictivo. Permite determinar el comportamiento de un conjunto de datos a lo largo del tiempo, mediante el uso de herramientas matemáticas y estadísticas que facilitan la identificación de tendencias y probabilidades (Nyce, 2007). Además, distintos países han utilizado modelos de predicción como herramientas para promover nuevas políticas sobre el manejo de desechos (Mark Gino & Jr, 2017).

En el 2015 en la ciudad de Culiacán de Rosales, México, se aplicó un modelo de predicción para estimar las cantidades de residuos de 19 AEE para el diseño de políticas públicas que mitiguen el daño ambiental causado por los RAEE. La metodología aplicada consideró la cantidad de AEE que se encontraba en uso para un período de tiempo

determinado (tiempo cero), y la probabilidad de que los usuarios los desecharan durante el año correspondiente. Los resultados se obtuvieron multiplicando los dos factores antes descritos y mostraron que los teléfonos celulares tienen la probabilidad de desecho más alta (48%), mientras que los equipos con menor probabilidad resultaron ser las tablets (8.4%), seguidas por los aires acondicionados (5%) y las pantallas planas grandes (4.5%). Se evidenció también que los equipos de línea blanca como lavadoras y refrigeradores son descartados en grandes cantidades, pronosticándose para el período de 2013-2014 el desecho de 46 757 y 66 612 unidades respectivamente. Sin embargo, los dispositivos que mayor cantidad de residuos producen son los teléfonos celulares con 309 482 unidades pronosticadas para ese mismo período de tiempo (Citlalli et al., 2015).

Un estudio similar se realizó en Bélgica en el 2017, para la predicción de la composición de los desechos provenientes de paneles fotovoltaicos. Se determinaron tres principales razones para que los equipos sean reparados, refabricados o reciclados, siendo estas: falla temprana, debido a accidentes o errores en la producción, transporte o instalación; fallas accidentales a lo largo de la vida útil del producto, por efecto de factores externos como rayos, granizo o incendios; fallas de desgaste, como resultado del envejecimiento de los equipos y la disminución de su rendimiento. Se consideraron además escenarios de baja, media y alta generación de residuos, siendo los parámetros promedio los más realistas. Los resultados revelaron una elevada incertidumbre sobre el crecimiento de los flujos de desechos, la evolución en su composición y el precio de sus componentes. Se evidenció además la necesidad de mejorar la información disponible sobre la vida útil de los equipos y los parámetros externos influyentes. El estudio concluyó que al menos 22 000 toneladas de desechos deberán ser recicladas por año en la región de Flandes, lo que equivale a 3.4 kg per cápita. El impacto ambiental generado podría ser mitigado en un 0.2% si todos los materiales presentes en los paneles solares son reciclados en un sistema de circuito cerrado, siendo importante que futuras investigaciones trabajen en el desarrollo, ajuste e integración de tecnologías de reciclado nuevas y más eficientes (Peeters, Altamirano, Dewulf, & Duflou, 2017).

Por otro lado, en Filipinas en 2017 se realizó un estudio para estimar las cantidades de residuos provenientes de teléfonos celulares. En ausencia de datos sobre la cantidad de desechos de teléfonos celulares en años anteriores, se estimaron las ventas futuras de los dispositivos. Para ello se utilizó una red neuronal con una arquitectura de tres capas: una capa de entrada, una capa oculta (cinco subcapas) y una capa de salida. Durante la fase

de aprendizaje del sistema se emplearon siete parámetros de entrada para el período 2010-2015: población (1), tasa de alfabetización (2), conexiones móviles (3), suscriptores móviles (4), Producto Interno Bruto (PIB) (5), PIB per cápita (6) y la tasa de cambio de dólares americanos a pesos (7). El procesamiento de los datos se lo realizó con el software Developer 1.7, con una precisión calculada del 99%. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. *Cantidades de residuos provenientes de teléfonos celulares, Filipinas.*

Año	Número de unidades
2016	22 850 988
2017	24 279 834
2018	24 773 554
2019	24 874 505
2020	24 898 686
2021	24 908 493

Fuente: Mark Gino & Jr (2017)

Este estudio encontró que la demanda de teléfonos móviles aumentará continuamente, amenazando no solo al medio ambiente, sino también a la salud de seres humanos al no manejarse adecuadamente sus residuos (Mark Gino & Jr, 2017).

Así mismo, una investigación realizada en Irlanda en el 2017 utilizó técnicas de modelado para determinar y predecir los flujos históricos de RAEE para los años 2000–2020. Se emplearon tres objetos de estudio: electrodomésticos grandes fríos (frigoríficos y congeladores), electrodomésticos grandes no fríos (lavadoras, lavavajillas, secadoras y hornos) y televisores. Para el análisis y procesamiento de los datos se utilizó el “Generated RAEE Model” de la UNU, que conjuga tres análisis operacionales independientes: fuente, canales de circulación y disposición final de los flujos de materiales. Considerando que los productos ingresan al sistema en los diferentes puntos de venta y alcanzan la salida cuando su vida útil ha concluido, se calcularon las tasas de retorno actuales y futuras. Los resultados del estudio demostraron que el retorno de RAEE histórico es del 69% para los electrodomésticos grandes fríos, 59% para los electrodomésticos grandes no fríos y 77% para los televisores. Esto significa que aún existen cantidades considerables de RAEE histórico en el flujo de retorno que, según las predicciones del modelo, se reducirán para el 2020 hasta un 45%, 38% y 54% respectivamente (Johnson, Fitzpatrick, Wagner, &

Huisman, 2018). De acuerdo a la revisión bibliográfica realizada, en el Ecuador no se encontraron estudios sobre modelos de predicción de RAEE.

### 3 Metodología

Para abordar los objetivos planteados en este estudio, se propuso el siguiente esquema metodológico:

1. Determinación de la composición promedio de un teléfono celular

Para ello se realizó una revisión bibliográfica de diferentes estudios, que nos permitió definir la proporción másica de los elementos presentes en un modelo de teléfono celular específico.

2. Determinación de la dimensión ambiental y económica de un teléfono celular

De acuerdo con la composición establecida, se determinó el impacto ambiental en milipuntos utilizando la herramienta de acceso libre Ecolizer, y el valor económico en dólares de los elementos presentes en un teléfono celular.

3. Análisis multidimensional

Se determinaron los elementos de mayor importancia en un teléfono celular, analizando en conjunto los apartados anteriormente mencionados.

4. Estimación de la generación de residuos de teléfonos celulares

Analizando diferentes bases de datos oficiales, se determinaron los volúmenes anuales de ingreso de teléfonos celulares en el cantón Cuenca y el Ecuador. Posteriormente, mediante revisión bibliográfica se estableció la vida útil promedio de los dispositivos y, en función de ella, se realizó una distribución normal para la estimación de la generación de residuos durante el período 2012-2018.

5. Análisis del flujo de materiales

De acuerdo a la generación de residuos estimada, mediante revisión bibliográfica y recopilación de datos de fuentes oficiales, se determinaron los diferentes canales de disposición de residuos de teléfonos celulares en el Ecuador.

6. Análisis del ciclo de vida

Conociendo la cantidad de residuos que son recolectado formalmente, se realizó un ACV en se analizaron 3 escenarios reciclaje y se determinó aquel que supone los mayores beneficios ambientales y económicos.

7. Revisión bibliográfica de modelos de predicción

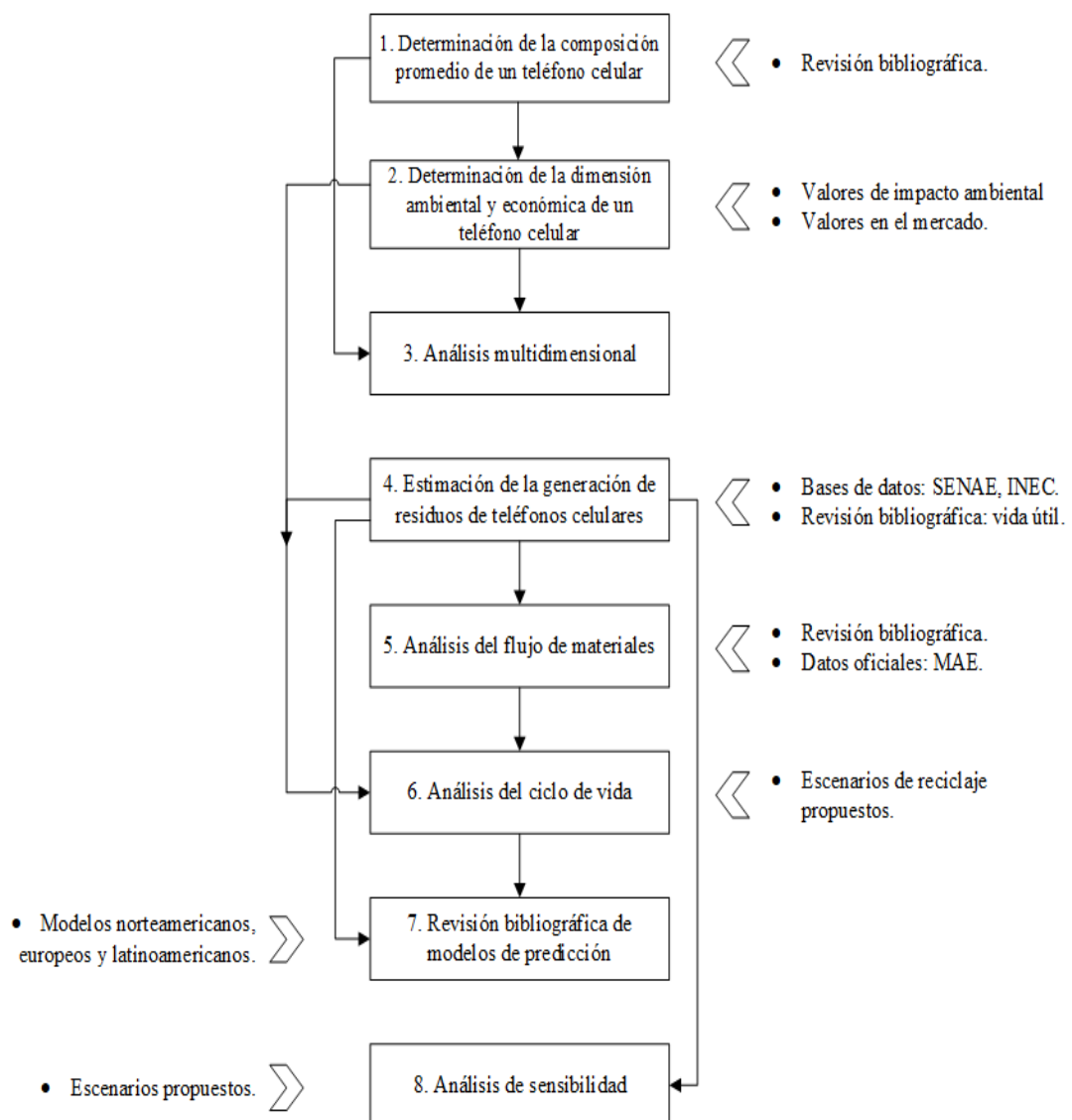
Se revisaron diferentes modelos de estimación de RAEE que han sido desarrollados tanto países industrializados como en realidades latinoamericanas.

De estos últimos se seleccionaron aquellos cuyos parámetros de entrada pueden ser replicados en el contexto ecuatoriano, y se compararon con el modelo propuesto en este estudio (apartado 4).

#### 8. Análisis de sensibilidad

De forma complementaria a este estudio, se realizó un análisis de sensibilidad de la estimación de la generación de residuos de teléfonos celulares, considerando un escenario superior e inferior.

En la Figura 1 se presenta la síntesis del esquema metodológico antes descrito.



*Figura 1. Esquema metodológico*  
Elaboración: Autores.



### 3.1 Composición de un teléfono celular

Un teléfono celular está comúnmente formado por: pantalla, batería, carcasa, motor de vibración, micrófonos, parlantes, antena, cámara frontal, cámara posterior, botones y placa de circuitos impresos (PCB) (International Precious Metals Institute, 2002). Debido a la complejidad en su composición, en este estudio se han considerado cuatro componentes principales: pantalla, PCB, batería y carcasa. Mediante revisión bibliográfica (Ver Anexo 1) se evidenció una elevada variabilidad en la composición de los dispositivos, debido principalmente a los modelos de teléfonos celulares analizados, los métodos de análisis empleados y los años en los que los estudios fueron realizados.

Para facilitar el análisis de la composición se ha definido un modelo específico en función de la disponibilidad de información. Se utilizaron los resultados de un estudio realizado por Metallurgist sobre la composición de un iPhone 6 de 16Gb (911METALLURGY CORP, 2017) y basándose en la infografía presentada por Visual Capitalist se asignaron los elementos correspondientes a cada componente. La infografía muestra los elementos de un iPhone 6S. Sin embargo, ha sido considerada como válida debido a que la variación entre uno modelo y otro no es representativa (Desjardins, 2016). Ciertos elementos como el Al, Si y Sn se encontraron en más de uno de los componentes en los que el teléfono fue dividido. Los valores se ajustaron multiplicando el porcentaje promedio de cada elemento mostrado en el Anexo 1 por el peso de cada componente de acuerdo con el reporte ambiental de Apple para el iPhone 6 (Apple, 2014). Los elementos trabajados bajo este criterio se pueden visualizar en la Tabla 3.

Tabla 3. *Ajuste de los elementos (Al, Si, Sn) a la composición del iPhone 6.*

Elemento	Valor total (911METALLURGY CORP, 2017)	Componente	Porcentaje promedio	Valor estimado por componente
Al	31.14g	Pantalla		* 2.67
		PCB	3.11	0.47
		Batería	7.37	2
		Carcasa		** 27
Si	8.14g	Pantalla		* 8.12
		PCB	0.0009	0.0135
Sn	0.66g	Pantalla		* 0.29
		PCB	2.45	0.37

\* Diferencia del valor total según Metallurgist y los valores estimados por componente

\*\* Valor directo de acuerdo al reporte ambiental de Apple para el iPhone 6

Elaboración: Autores.

Los siguientes elementos: Bi, Ca, Cr, Cl, Mo, Mn, Mg, Pb, S, Ti, V, W, Zn presentados por Metallurgist no se encuentran en la infografía presentada por Visual Capitalist por lo que su presencia ha sido determinada de acuerdo a los estudios presentados en el Anexo 1.

Los siguientes elementos: Ag, B, Dy, In, Nd, Pr, Pd, Sb mostrados en la infografía presentada por Visual Capitalist no se encuentran en el estudio realizado por Metallurgist, por lo que sus valores fueron determinados mediante revisión bibliográfica.

La composición estimada para cada componente del iPhone 6 se presenta en las Tablas 4, 5, 6, 7 y en las Figuras 1, 2 y 3.

Tabla 4. *Composición estimada para el iPhone 6: Pantalla.*

	Elemento	Peso (g)	Fuente
Pantalla	Al	2.67	(911METALLURGY CORP, 2017)
	Si	8.12	
	K	0.33	
	In	0.01	(Choi & Lee, 2001)
	Sn	0.29	(Merchant, 2017)

Elaboración: Autores.

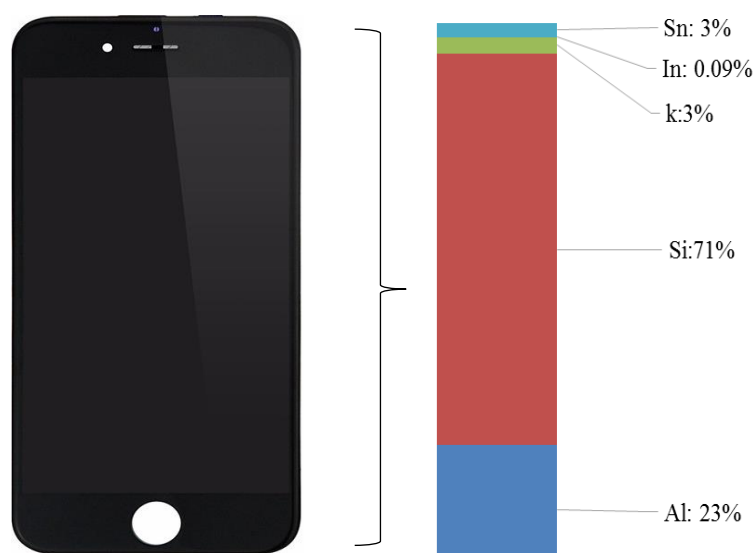


Figura 2. *Composición estimada para el iPhone 6: Pantalla*  
Elaboración: Autores.

Tabla 5. Composición estimada para el iPhone 6: Batería

	Elemento	Peso (g)	Fuente
Batería	Al	2	(911METALLURGY CORP, 2017)
	Co	6.59	
	Li	0.87	
	C	19.85	

Elaboración: Autores.

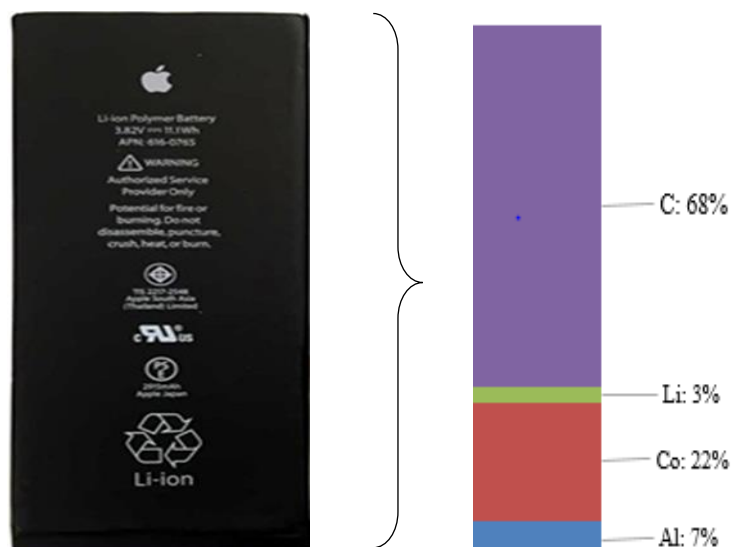


Figura 3. Composición estimada para el iPhone 6: Batería

Elaboración: Autores.

Tabla 6. Composición estimada para el iPhone 6: PCB

	Elemento	Peso (g)	Fuente
PCB	Al	0.47	
	As	0.01	
	Ca	0.44	
	Cl	0.01	
	Cr	4.94	
	Cu	7.84	
	Fe	18.63	
	Ga	0.01	
	Mg	0.65	
	Mn	0.29	(911METALLURGY CORP, 2017)
	Mo	0.02	
	Ni	2.72	
	P	0.03	
	Pb	0.04	
	S	0.44	
	Si	0.0135	
	Ti	0.3	
	V	0.04	
	W	0.02	
	Zn	0.69	
	Au	0.014	
	Bi	0.02	(Merchant, 2017)
	Sn	0.37	
	Ta	0.02	
	B	0.44	
	Dy	0.001	(Müller, 2013)
	Nd	0.135	
	Pr	0.036	
	Ag	0.34	(911METALLURGY CORP, 2013)
	Pd	0.015	(THE CIRCULARS, 2018)
	Sb	0.033	(Chen et al., 2018)

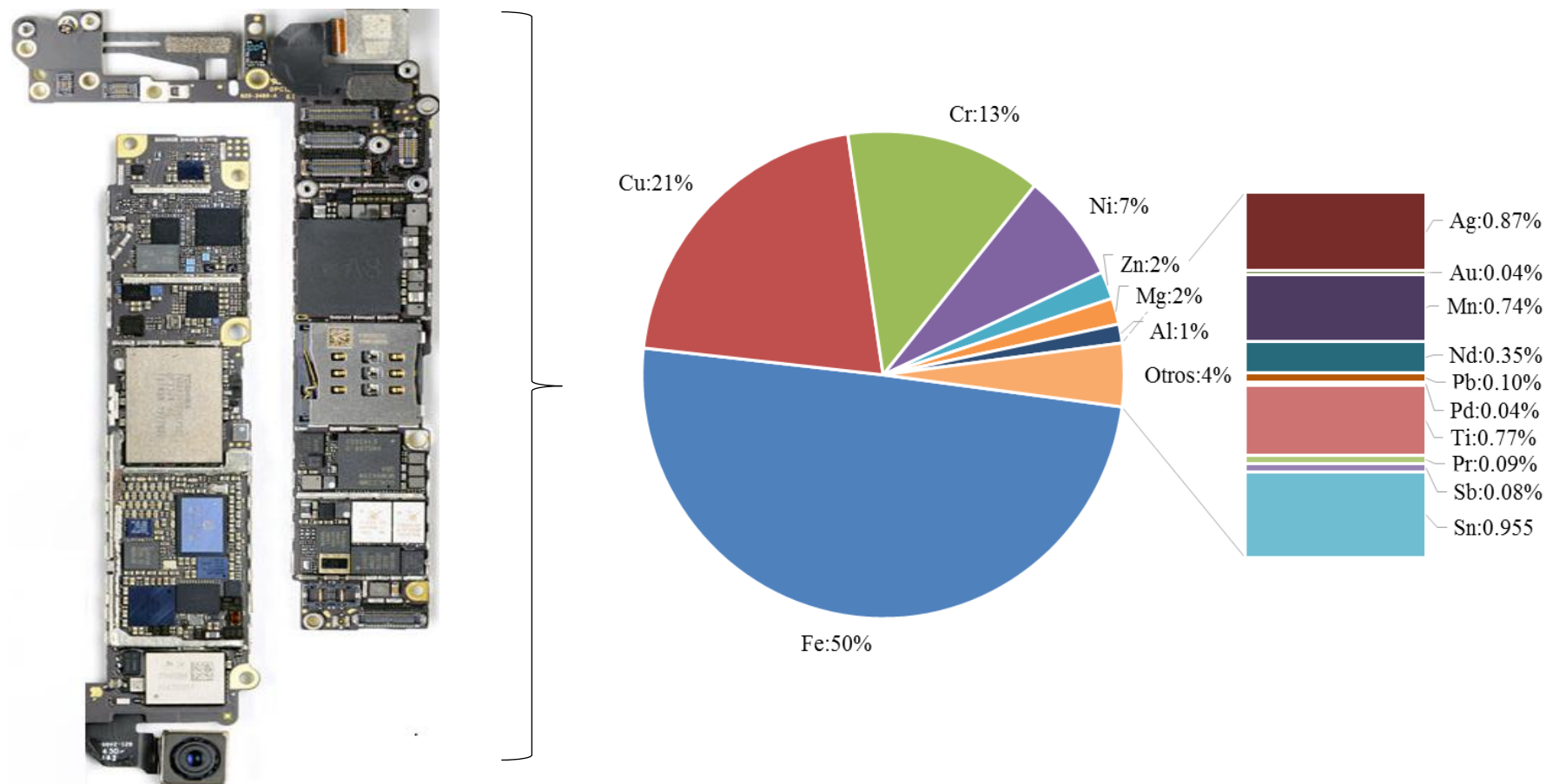


Figura 4. Composición estimada para el iPhone 6: PCB

Elaboración: Autores.

Tabla 7. *Composición estimada para el iPhone 6: Carcasa y Otros*

	Elemento	Peso (g)	Fuente
Carcasa	Al	26	(Apple, 2014)
	Plástico	5	
Otros	H	5.52	(911METALLURGY CORP, 2017)
	O	12.72	

Elaboración: Autores.

La composición final estimada para los componentes el iPhone 6 se presenta en la Tabla 8.

Tabla 8. *Composición estimada para el iPhone 6 por componentes*

Componentes	Peso (g)	Porcentaje
Pantalla	11.42	8.85
Batería	29.31	22.72
PCB	39.03	30.26
Carcasa	26	20.16
Otros	23.24	18.02
Total	129	100

Elaboración: Autores.

### 3.2 Dimensión Ambiental

Para determinar el impacto ambiental de los elementos presentes en cada componente de un teléfono celular se utilizó la composición del iPhone 6 presentada en la Tabla, 4 en conjunto con la herramienta Ecolizer la cual, al ser de acceso libre, presenta ciertas limitaciones y no cuenta con la información de algunos elementos. Esta emplea la base de datos Ecoinvent (versión 2.0), una de las más completas y utilizadas para el ACV. La información de esta base de datos se convierte en eco-indicadores mediante el método ReCiPe, considerando 19 categorías de impacto. Cada uno de estos impactos individuales se traducen en “daño ambiental” de acuerdo a tres categorías: daño a la salud humana, daño al ecosistema y agotamiento de materias primas. Estas categorías son ponderadas con un peso del 40%, 40% y 20% respectivamente, constituyéndose así el valor final de impacto en milipuntos (mPts), en donde un milipunto equivale a la millonésima parte de la carga ambiental anual causada por un europeo promedio.

El impacto ambiental para cada componente se calculó utilizando la composición presentada en las Tablas 5, 6, 7 y 8. Los resultados obtenidos se muestran en las Tablas 9, 10, 11 y 12, y en las Figuras 4, 5 y 6.

Tabla 9. *Impacto ambiental de un iPhone 6 (mPts:) Pantalla*

	Elemento	Peso (g)	Impacto ambiental (mPts/Kg)	Impacto ambiental iPhone 6 (mPts)
Pantalla	Al	2.67	1096	2.93
	In	0.01		
	K	0.33		
	Si	8.12		
	Sn	0.29	3347	0.97
Total		11.42		3.90

Elaboración: Autores.

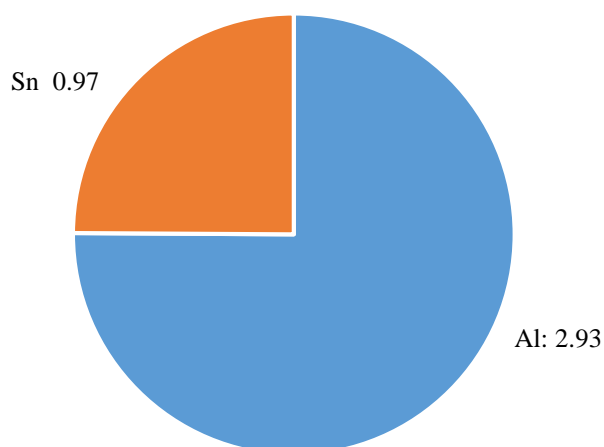


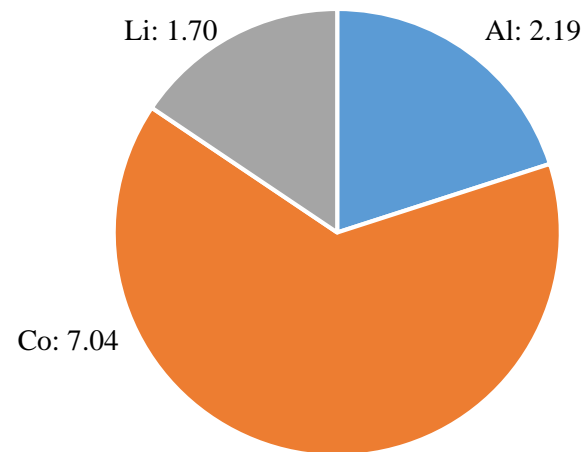
Figura 5. *Impacto ambiental de un iPhone 6 (mPts): Pantalla*

Elaboración: Autores.

Tabla 10. *Impacto ambiental de un iPhone 6 (mPts): Batería*

	Elemento	Peso (g)	Impacto ambiental (mPts/Kg)	Impacto ambiental iPhone 6 (mPts)
Batería	Al	2	1096	2.192
	C	19.85		
	Co	6.59	1069	7.04471
	Li	0.87	1959	1.70433
Total		29.31		10.94104

Elaboración: Autores.



*Figura 6.* Impacto ambiental de un iPhone 6 (mPts): Batería  
Elaboración: Autores.



Tabla 11. *Impacto ambiental de un iPhone 6 (mPts): PCB*

	Elemento	Peso (g)	Impacto ambiental	Impacto ambiental iPhone
			(mPts/Kg)	6 (mPts)
PCB	Ag	0.34	47376	16.10784
	Al	0.47	1096.00	0.51512
	As	0.01		
	Au	0.014	9510160	133.14224
	B	0.44		
	Bi	0.02		
	Ca	0.44		
	Cl	0.01	99.00	0.00099
	Cr	4.94	4090.00	20.2046
	Cu	7.84	3525.00	27.636
	Dy	0.001		
	Fe	18.63	220.00	4.0986
	Ga	0.01	17800.00	0.178
	Mg	0.65	3695.00	2.40175
	Mn	0.29	8609	2.49661
	Mo	0.02	34854	0.69708
	Nd	0.135		
	Ni	2.72	4196.00	11.41312
	P	0.03		
	Pb	0.04	552.00	0.02208
	Pd	0.015	7676820	115.1523
	Pr	0.036		
	S	0.44		
	Sb	0.033		
	Si	0.0135		
	Sn	0.37	71990	26.6363
	Ta	0.02		
	Ti	0.3	772.00	0.2316
	V	0.04		
	W	0.02		
	Zn	0.69	651.00	0.44919
	Total	39.0275		361.38342

Elaboración: Autores.

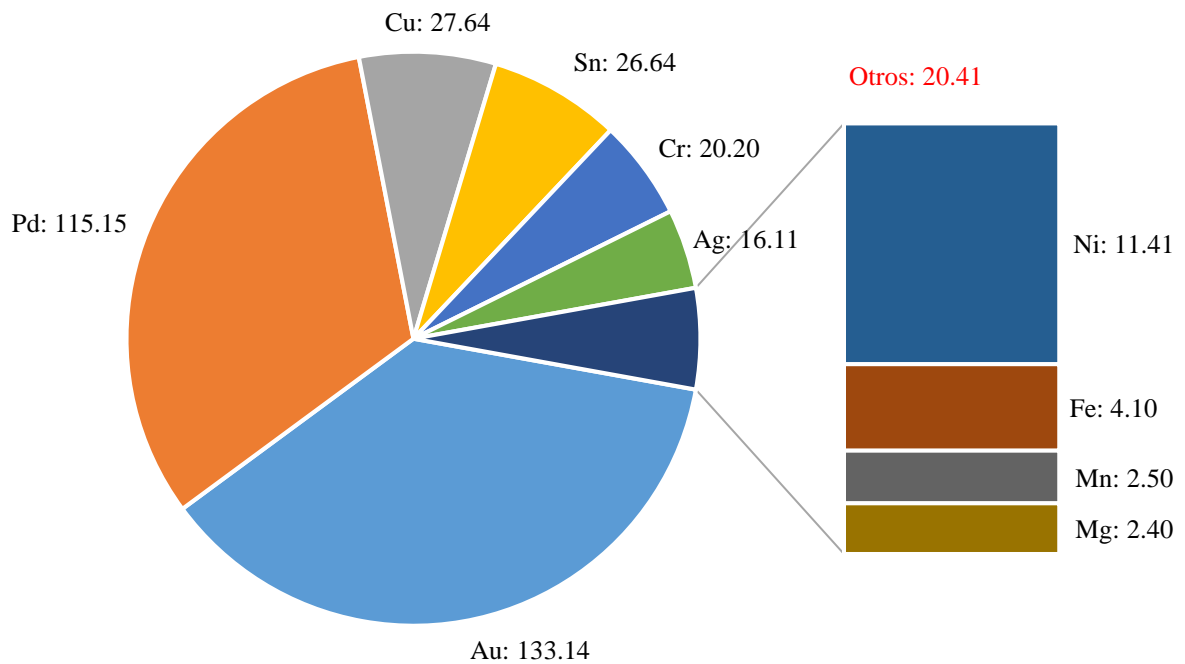


Figura 7. Impacto ambiental de un iPhone 6 (mPts): PCB  
Elaboración: Autores.

Tabla 12. Impacto ambiental de un iPhone 6 (mPts): Carcasa y Otros

	Elemento	Peso (g)	Impacto ambiental (mPts/Kg)	Impacto ambiental iPhone 6 (mPts)
Carcasa	Al	26	1096	28.496
	Plástico	5	654	3.27
Otros	H	5.52		
	O	12.72		
Total		49.24		31.766

Elaboración: Autores.

Los resultados de la evaluación del total del impacto ambiental de un iPhone 6 se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Impacto ambiental (mPts) de un iPhone 6

Componente	Impacto ambiental (mPts)
Pantalla	3.90
Batería	10.94
PCB	361.39
Carcasa	28.50
Otros	3.27
Total	408

Elaboración: Autores.

### 3.3 Dimensión Económica

Considerando la composición presentada en la Tabla 4 para el iPhone 6, se calculó el valor económico de cada componente. Los resultados se muestran en la Tabla 14 y la Figura 8.

Tabla 14. Estimación del valor económico para el iPhone 6

Componente	Valor económico (\$)
PCB	1.38
Batería	0.54
Carcasa	0.4
Pantalla	0.027
Total	2.35

Elaboración: Autores.

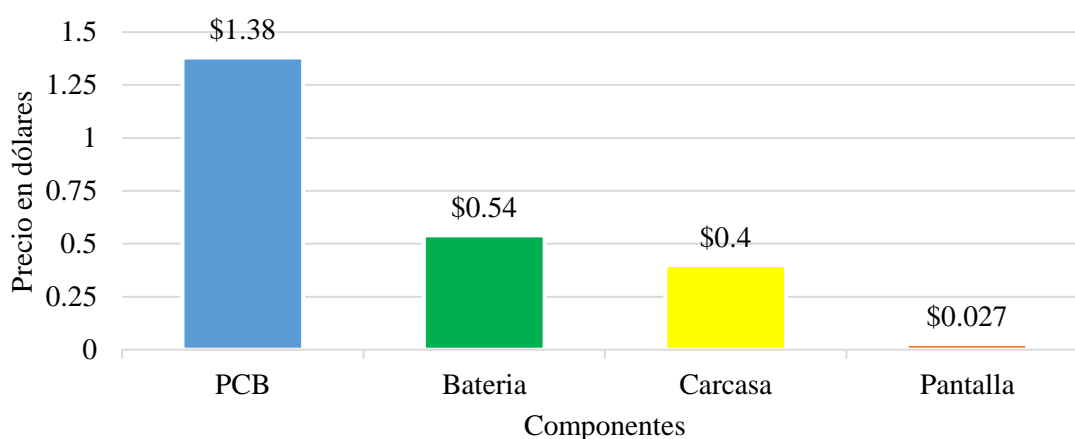


Figura 8. Estimación del valor económico para el iPhone 6

Elaboración: Autores.

Para la estimación económica individual de cada componente se consideró la composición presentada en las Tablas 5, 6, 7 y 8. Los resultados se muestran en las Tablas 15, 16, 17 y 18 y las Figuras 9, 10, 11 y 12.

Tabla 15. *Estimación del valor económico para el iPhone 6: Pantalla*

	Elemento	Peso(g)	Valor económico(\$/g)	Valor económico iPhone 6 (\$)	Fuente
Pantalla	Al	2.67	0.0021	0.00561	(InfoMine, 2018)
	K	0.33	0.0003	0.000099	
	Sn	0.29	0.0198	0.005742	
	Si	8.12	0.001657	0.01345	(Metalbulletin, 2018)
	In	0.01	0.205	0.00205	(U.S. Geological Survey, 2018d)

Elaboración: Autores.

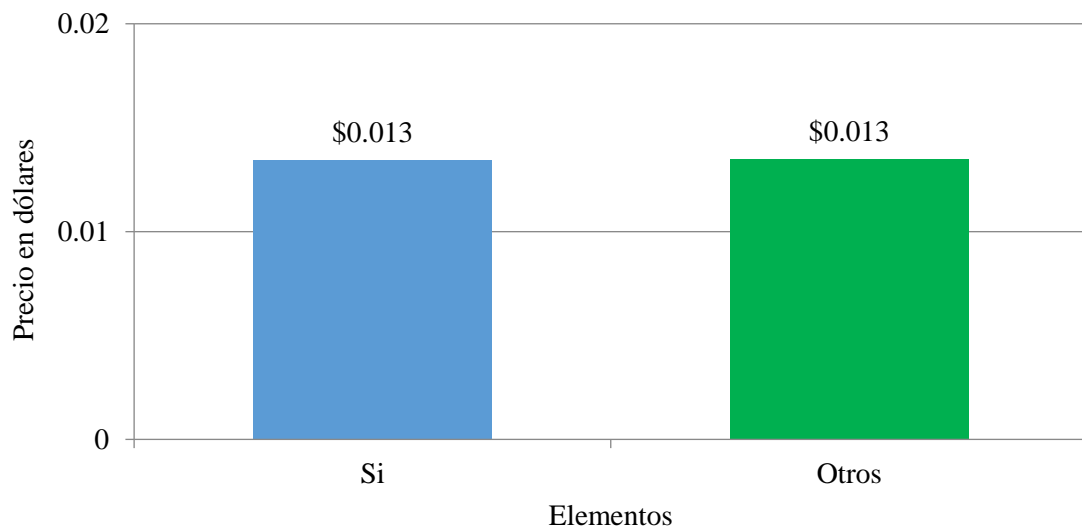


Figura 9. *Estimación del valor económico para el iPhone 6: Pantalla*

Elaboración: Autores.

Tabla 16. Estimación del valor económico para el iPhone 6: Batería

	Elemento	Peso (g)	Valor económico (\$/g)	Valor económico iPhone 6 (\$)	Fuente
Batería	Al	2	0.0021	0.0042	(InfoMine, 2018)
	Co	6.59	0.076	0.50084	
	Li	0.87	0.0198	0.017226	(Merchant, 2017)
	C	19.85	0.001125	0.02233125	(Northern Graphite, 2018)

Elaboración: Autores.

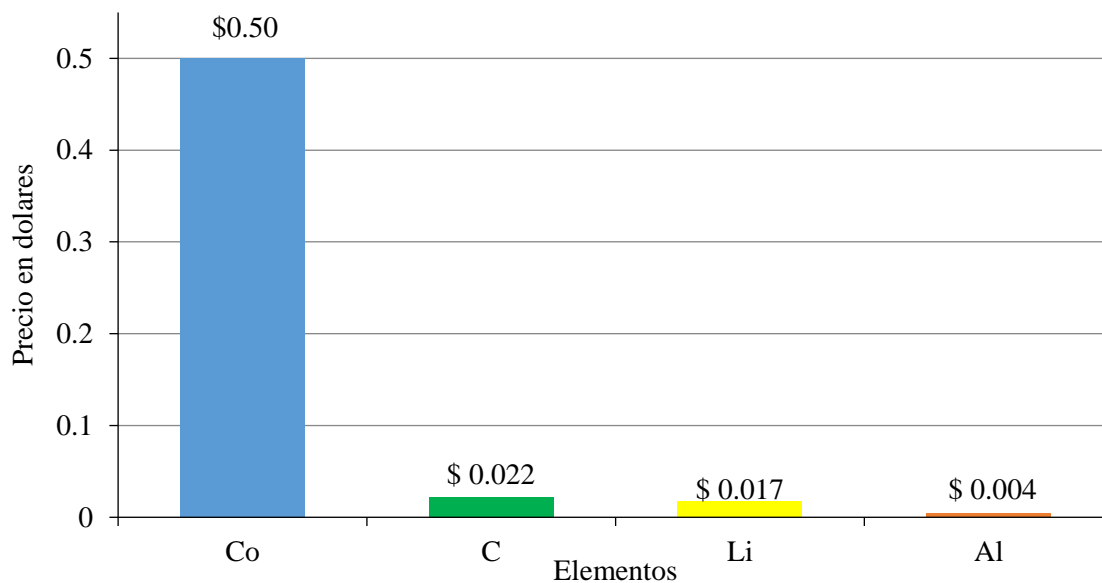


Figura 10. Estimación del valor económico para el iPhone 6: Batería  
Elaboración: Autores.

Tabla 17. Estimación de valor económico para el iPhone 6: PCB

Elemento	Peso (g)	Valor económico (\$/g)	Valor económico iPhone 6 (\$)	Fuente
Ag	0.34	0.52	0.1768	
Al	0.47	0.0021	0.000987	
Au	0.014	40.41	0.56574	
Cr	4.94	0.0028	0.013832	
Cu	7.84	0.0066	0.051744	
Fe	18.63	0.000071	0.00132273	
Mg	0.65	0.00225	0.0014625	
Mn	0.29	0.00203	0.0005887	
Mo	0.02	0.026	0.00052	
Ni	2.72	0.01411	0.0383792	(InfoMine, 2018)
P	0.03	0.000086	0.00000258	
Pb	0.04	0.00238	0.0000952	
Pd	0.015	30.53	0.45795	
Si	0.0135	0.2425	0.00327375	
Sn	0.37	0.0198	0.007326	
Ta	0.02	0.1865	0.00373	
Ti	0.3	0.0049	0.00147	
V	0.04	0.0352	0.001408	
W	0.02	0.031	0.00062	
Zn	0.69	0.0028	0.001932	
Ca	0.44	0.0044	0.001936	
Cl	0.01	0.0011	0.000011	(Merchant, 2017)
Ga	0.01	0.3304	0.003304	
S	0.44	0.0001	0.000044	
Pr	0.036	0.123	0.004428	(Statista, 2014)
As	0.01	0.0019	0.000019	(Statista, 2018)
Sb	0.033	0.884	0.029172	(U.S. Geological Survey, 2018a)
Bi	0.02	0.0142	0.000284	(U.S. Geological Survey, 2018b)
B	0.44	0.00062	0.0002728	(U.S. Geological Survey, 2018c)
Dy	0.001	0.185	0.000185	(U.S. Geological Survey, 2018e)
Nd	0.135	0.0575	0.0077625	

Elaboración: Autores.

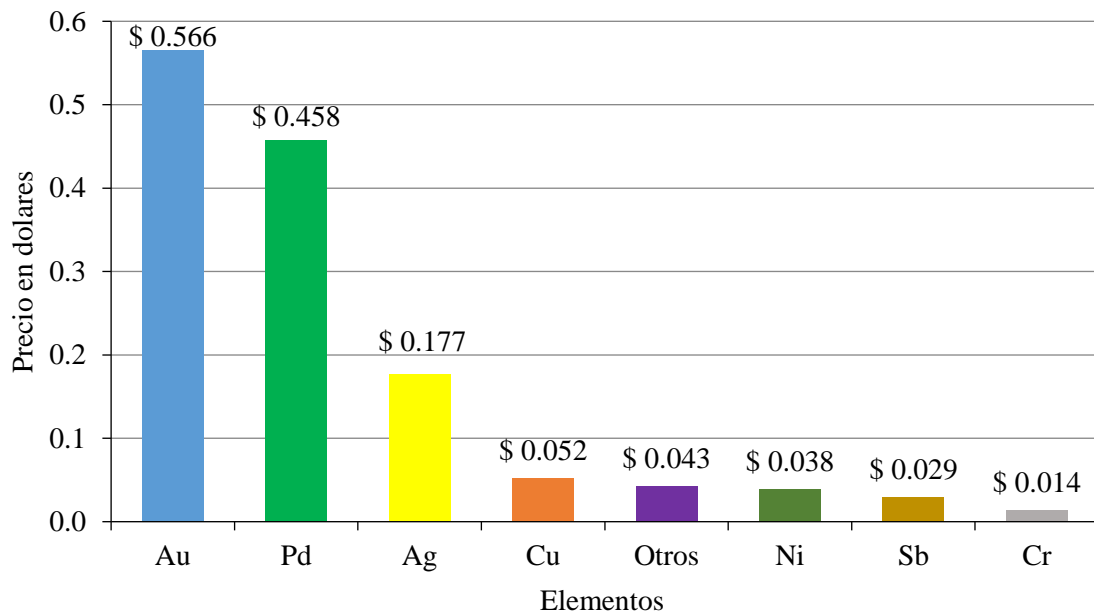


Figura 11. Estimación del valor económico para el iPhone 6: PCB  
Elaboración: Autores.

Tabla 18. Estimación del valor económico para el iPhone 6: Carcasa y Otros

	Elemento	Peso (g)	Valor económico (\$/g)	Valor económico iPhone 6 (\$)	Fuente
Carcasa	Al	26	0.0021	0.0546	(InfoMine, 2018)
	Plástico	5	0.07	0.35	(Plastics Insight, 2017)
Otros	H	5.52			
	O	12.72			

Elaboración: Autores.

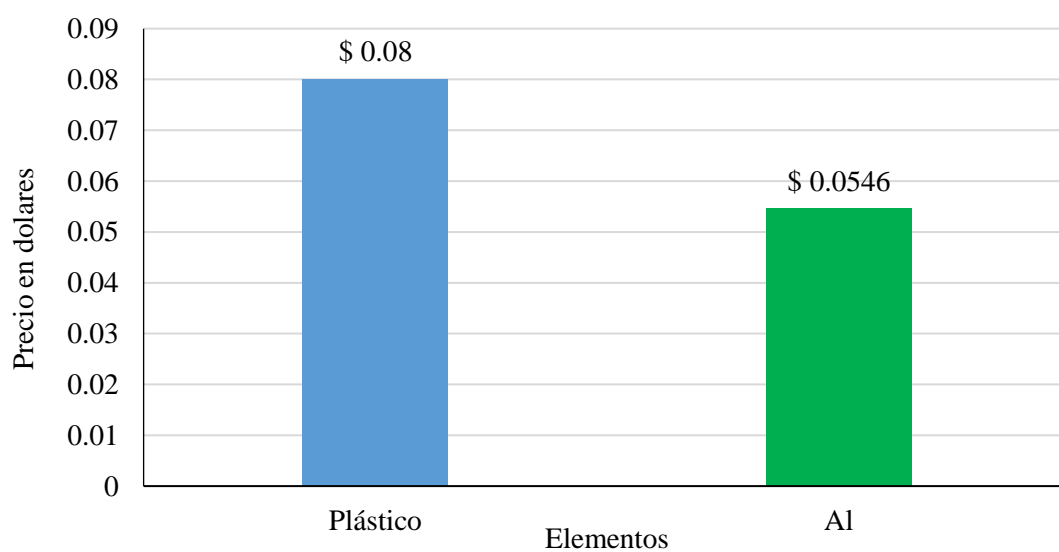


Figura 12. Estimación del valor económico para el iPhone 6: Carcasa y Otros  
Elaboración: Autores.

### 3.4 Análisis multidimensional

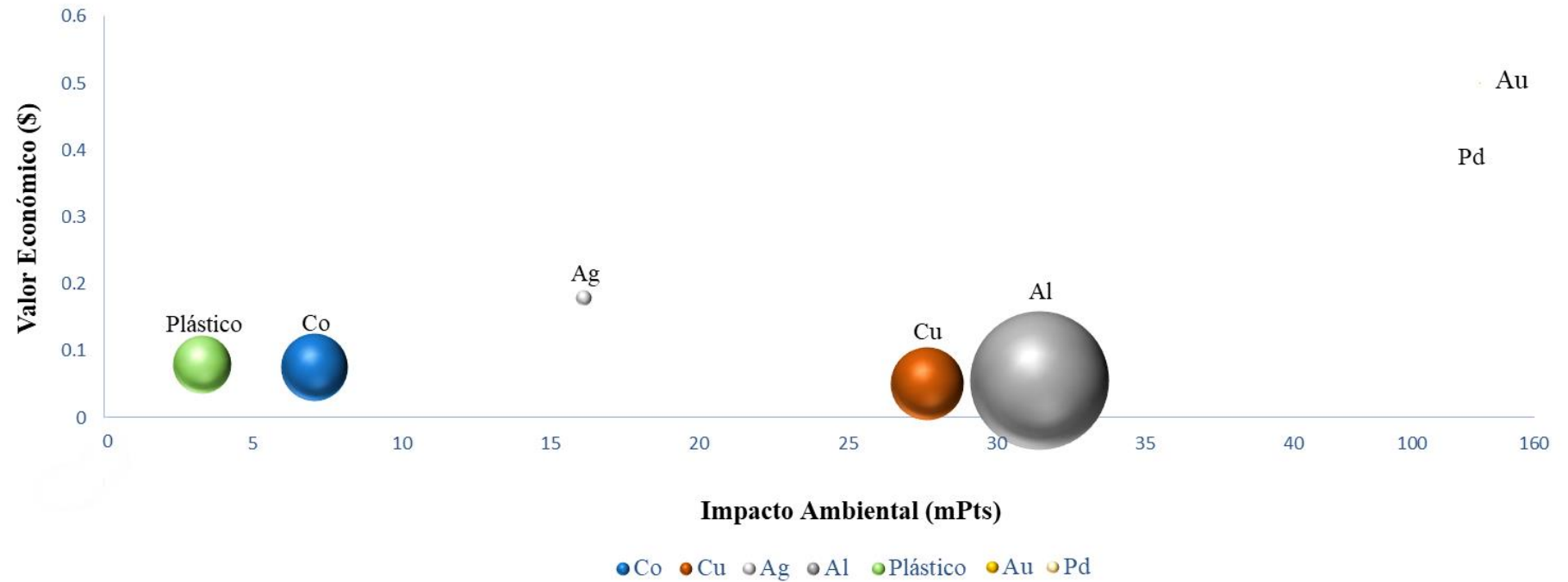
Conociendo la composición y la dimensión ambiental y económica, se elaboró una matriz de selección de los elementos más relevantes (mayor masa, valor económico e impacto ambiental), la cual se presenta en la Tabla 19, en donde se puede observar que la mayor cantidad de elementos de interés se encuentran en el PCB. Los resultados fueron utilizados para la elaboración de un esquema multidimensional presentado en la Figura 13.

Tabla 19. *Análisis multidimensional: elementos de un iPhone 6*

Componente	Elemento	Dimensión Másica (g)	Dimensión Económica (\$)	Dimensión Ambiental (mPts)
Pantalla	Al	2.67	0.0022	2.93
Batería	Co	6.59	0.076	7.04471
	Cu	7.84	0.052	27.64
	Au	0.014	0.57	133.14
PCB	Pd	0.015	0.46	115.15
	Ag	0.34	0.18	16.11
Carcasa	Al	26	0.0546	28.50
Plástico/otros	Plástico	5	0.08	3.27

Elaboración: Autores.





*Figura 13.* Análisis multidimensional: elementos de un iPhone 6  
Elaboración: Autores.

### 3.5 Estimación de la generación de residuos de teléfonos celulares

#### 3.5.1 Volumen de ingreso de Teléfonos celulares en el Ecuador.

Para estimar la cantidad de teléfonos celulares que ingresan al país se analizaron tres fuentes de información como posibles valores de entrada:

##### 3.5.1.1 Datos de la Agencia de Regulación y Control de las telecomunicaciones (ARCOTEL).

De acuerdo al registro de líneas telefónicas activas, en el país existían 15 548 544 líneas para septiembre del 2018, lo que representa una densidad nacional del 91.67%. Sin embargo, estos datos no proporcionan información concluyente sobre la cantidad de teléfonos celulares debido a la duplicidad de ciertas líneas en algunos dispositivos y a su inexistencia en otros.

##### 3.5.1.2 Datos del Servicio Nacional de Aduanas del Ecuador (SENAE).

En la información proporcionada por la SENAE se presentan, bajo la Nomenclatura Arancelaria Común de la Comunidad Andina (NANDINA), asignada a teléfonos celulares y teléfonos inteligentes (Código: 8517.12.00), los datos de importaciones y exportaciones para el periodo 2011-2017. Estas cantidades se pueden observar en la Tabla 20.

Tabla 20. *Importaciones y exportaciones de teléfonos celulares en el Ecuador para el período 2011-2017*

Años	Importaciones (t)	(Unidades)	Exportaciones (t)	(Unidades)	*Flujo neto de teléfonos celulares
2011	866.96	3 156 928	11.06	35 346	3 121 582
2012	532.79	1 940 109	2.87	9 172	1 930 937
2013	494.01	2 103 003	7.60	29 160	2 073 843
2014	547.25	2 227 279	3.07	47 861	2 179 418
2015	543.19	2 071 735	1.85	4 317	2 067 418
2016	415.88	1 266 702	0.26	904	1 265 798
2017	619.97	2 052 998	1.54	2 950	2 050 048

\*Diferencia entre las importaciones y exportaciones

Fuente: SENAE (2018).

Debido a que para los años 2011 y 2012 los reportes de importaciones y exportaciones se encuentran únicamente en toneladas, se calculó su equivalente en unidades. Para ello se dividieron estas cantidades para el peso promedio de una unidad de teléfono celular, el cual se obtuvo dividiendo los valores promedio en toneladas de importaciones y exportaciones de los años 2013-2017, para el número de unidades promedio de los mismos años.

### 3.5.1.3 Datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC)

Los datos de la tenencia de un teléfono celular presentados en el apartado de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC'S) de la Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo, realizada por el INEC para el período 2011-2017 representan el número de usuarios que poseen un teléfono celular, mas no la cantidad de dispositivos existentes. Los valores se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21. Estadísticas de tenencia celular en el Ecuador para el período 2010-2017

Años	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Población Total	14 279 685	14 478 129	14 682 556	15 872 755	16 148 648	16 404 531	16 714 929	16 961 926
Población que tiene teléfono celular activado	*5 799 384	6 209 858	6 859 938	7 453 781	7 820 597	8 174 520	8 482 236	8 987 750
Población que tiene un Smartphone	*512 596	522 640	839 705	1 261 944	1 928 108	3 084 886	4 484 087	5 716 770

\*Valores extrapolados.

Fuente: INEC (2018).

Finalmente, se utilizaron los datos obtenidos del INEC en conjunto con las estadísticas de importaciones y exportaciones proporcionadas por la SENA E con el objetivo de discriminar a los usuarios que adquirieron un teléfono celular por primera vez de aquellos que lo hicieron para reemplazar su dispositivo. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22. Número de usuarios en el Ecuador que adquieren un teléfono celular por primera vez y que lo reemplazan en el período 2011-2017

Años	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Usuarios que adquieren un teléfono por primera vez*	410 474	650 080	593 843	366 816	353 923	307 716	505 514
Usuarios que reemplazan su teléfono**	2 711 107	1 280 857	1 480 000	1 812 602	1 713 495	958 082	1 544 534

\*Tenencia anual (Diferencia entre el valor de la tenencia de dos años consecutivos).

\*\*Diferencia entre el flujo neto de teléfonos celulares y la tenencia anual.

Elaboración: Autores.

Los valores de flujo neto de teléfonos celulares y de la población que tiene un teléfono celular activado presentados en las Tablas 20 y 21 respectivamente, se dividieron para los valores de la población nacional presentados en la Tabla 21, con la finalidad de obtener sus valores per cápita. Los resultados se muestran en la Tabla 23.

*Tabla 23. Per cápita de tenencia de un teléfono celular activado y de flujo neto de teléfonos celulares en el Ecuador para el periodo 2011-2017*

Años	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Per cápita de tenencia de un teléfono celular activado	0.43	0.47	0.47	0.48	0.50	0.51	0.53
Per cápita de flujo neto	0.22	0.13	0.13	0.13	0.13	0.08	0.12

Elaboración: Autores.

### **3.5.2 Volumen de ingreso de teléfonos celulares en el cantón Cuenca.**

Para el cálculo del número de teléfonos celulares que ingresan al cantón Cuenca se multiplicaron los valores per cápita presentados en la Tabla 23 con los valores de la “Proyección de la Población Ecuatoriana, por años calendario, según cantones 2010-2020” realizada por el INEC. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 24.

*Tabla 24. Número de usuarios en el cantón Cuenca que adquieren un teléfono celular por primera vez y que lo reemplazan en el período 2011-2017*

Años	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Población total	535 624	546 864	558 127	569 416	580 706	591 996	603 269
Tenencia celular	229 736	255 504	262 094	275 761	289 371	300 417	319 659
Flujo neto	115 484	71 919	72 922	76 848	73 185	44 831	72 912
Usuarios que adquieren un teléfono por primera vez	16 696	25 768	6 590	13 667	13 609	11 046	19 242
Usuarios que reemplazan su teléfono	98 788	46 151	66 332	63 181	59 575	33 785	53 670

Elaboración: Autores.

La cantidad de usuarios que adquieren un teléfono por primera vez y los usuarios que remplazan su teléfono en el cantón Cuenca se calculó bajo el mismo criterio empleado en la Tabla 22.

### **3.5.3 Generación de residuos de teléfonos celulares en el Ecuador.**

El tiempo de vida útil de los teléfonos celulares resulta complejo de establecer y responde al estilo de vida y los hábitos de consumo del segmento de la población analizado. En este sentido, diferentes estudios se han desarrollado alrededor del mundo con el objetivo de definir el período en el que los dispositivos ingresan a la cadena de residuos. En el 2005, la EPA definió su tiempo de vida útil en 18 meses. De manera similar, un estudio realizado por Cruz et al (2013) analizó los hábitos de consumo de estudiantes universitarios en España y México, utilizando una encuesta dirigida a 266 y 267 personas respectivamente. Los resultados revelaron que más del 60% de estudiantes encuestados consideran que la vida útil de un celular no supera los 18 meses. Por otro lado, según el Centro de Investigación de Mercados de Colombia (CIM) el tiempo de vida útil promedio varía entre dos y tres años (CIM, 2008). Sin embargo, en el Ecuador no se han publicado estudios referentes al tiempo de vida útil de teléfonos celulares (Delunay & Montero, 2013).

Para estimar la cantidad de teléfonos celulares que son descartados en el Ecuador, se utilizó el flujo neto presentado en la Tabla 20 y se asumió que todas las unidades son vendidas el año en el que ingresan al país. Pese a que varios autores como Davis et al (2007), Mueller et al (2007) y Terazono et al (2006) sugieren que la distribución Weibull supone un análisis más aproximado para estimar la generación de residuos, esta requiere parámetros de forma y escala específicos para cada dispositivo, los cuales no se encuentran disponibles en la literatura. Por esta razón se utilizó una distribución normal, la cual de acuerdo a Mueller et al (2007) también puede ajustarse para estimar la generación de residuos. Para el estudio realizado por Duygan & Meylan (2015) en Suiza, se utilizaron los valores para el tiempo promedio de vida útil y su desviación estándar, siendo estos 3 y 1.25 años respectivamente. La probabilidad de la distribución normal se presenta en la Tabla 25.

Tabla 25. Probabilidad de la distribución normal

Media (años)	3
Desviación estándar (años)	1.25
xi (años)	Distribución
1	0.05479929
2	0.2118554
3	0.5
4	0.7881446
5	0.94520071
6	0.99180246

Elaboración: Autores.

La cantidad estimada de residuos de teléfonos celulares en el Ecuador para el periodo 2012-2016 no cuenta con la totalidad de flujos de residuos de los 6 años. Los únicos años que cumplen este criterio son 2017 y 2018 en donde se estima una generación de residuos de 2 071 444 y 1 950 968 unidades respectivamente. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 26.

Tabla 26. Cantidad de residuos de teléfonos celulares (unidades) en el Ecuador para los años 2017 y 2018

Años	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
2011	171 060	490 263	899 467	899 467	490 263	145 471	
2012		105 814	303 265	556 389	556 389	303 265	89 985
2013			113 645	325 710	597 567	597 567	325 710
2014				119 431	342 291	627 988	627 988
2015					113 293	324 701	595 715
2016						69 365	198 801
2017							112 341
Acumulado	171 060	596 077	1 316 377	1 900 996	2 099 803	2 068 356	1 950 540

Los valores incluyen usuarios que adquieren un teléfono celular por primera vez y aquellos que lo reemplazan.

Elaboración: Autores.

Para completar la curva de distribución de los años 2012-2016 se consideró el promedio del flujo neto de teléfonos celulares presentados en la Tabla 20, equivalente a 2 098 435. Este valor se asumió como un flujo de entrada constante para años anteriores (2006-2010) y se consideró la distribución normal presentada en la Tabla 25. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 27 y la Figura 14.

Tabla 27. Cantidad de residuos de teléfonos celulares (unidades) en el Ecuador para el período 2012- 2018

Años	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
	171 060	490 263	899 467	899 467	490 263	145 471	
2006	97 791	105 814	303 265	556 389	556 389	303 265	89 985
2007	329 572	97 791	113 645	325 710	597 567	597 567	325 710
2008	604 653	329 572	97 791	119 431	342 291	627 988	627 988
2009	604 653	604 653	329 572	97 791	113 293	324 701	595 715
2010	329 572	604 653	604 653	329 572	97 791	69 365	198 801
							112 341
Acumulado	2 137 301	2 232 746	2 348 393	2 328 359	2 197 594	2 068 356	1 950 540

Elaboración: Autores.

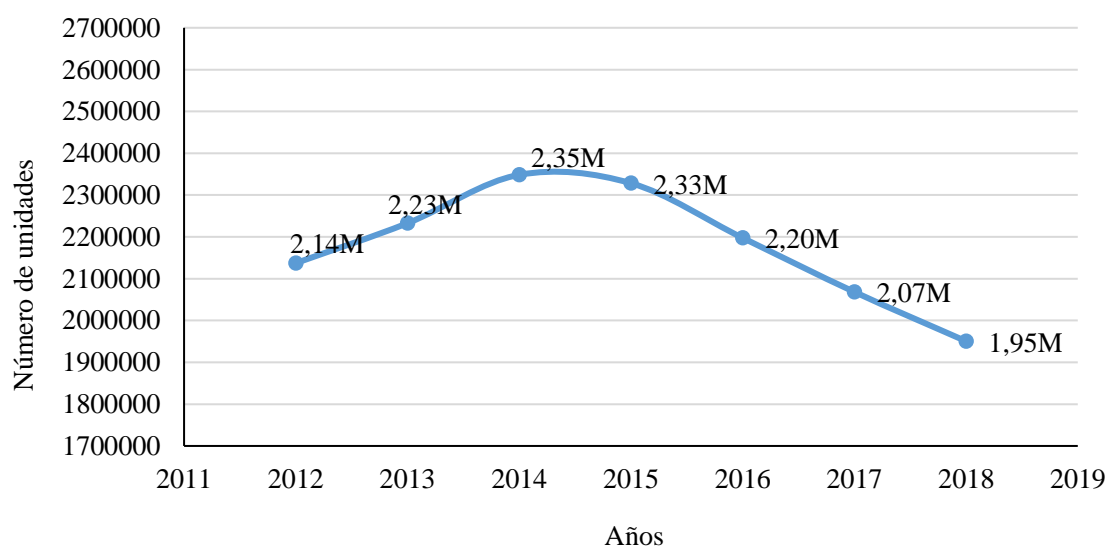


Figura 14. Generación estimada de residuos de teléfonos celulares en el Ecuador 2012-2018

Elaboración: Autores.

### 3.5.4 Generación de residuos de teléfonos celulares en el cantón Cuenca.

Para la estimación de la generación de residuos de teléfonos celulares en el cantón Cuenca se utilizaron los valores del flujo neto de teléfonos celulares presentados en la Tabla 24 considerando la distribución normal de la Tabla 25. La cantidad estimada de residuos de teléfonos celulares en el cantón Cuenca para el 2017 y 2018 es de 559 389 y 570 579 unidades respectivamente. Los resultados se muestran en la Tabla 28.

Tabla 28. *Cantidad de residuos de teléfonos celulares (unidades) en el cantón Cuenca para los años 2017 y 2018*

Años	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
2011	6 328	18 137	33 276	33 276	18 137	5 382	
2012		3 941	11 295	20 723	20 723	11 295	3 352
2013			3 996	11 453	21 012	21 012	11 453
2014				4 211	12 069	22 143	22 143
2015					4 010	11 494	21 088
2016						2 457	7 041
2017							3 996
Total	6328	22079	48568	69663	75953	73783	69072

Elaboración: Autores.

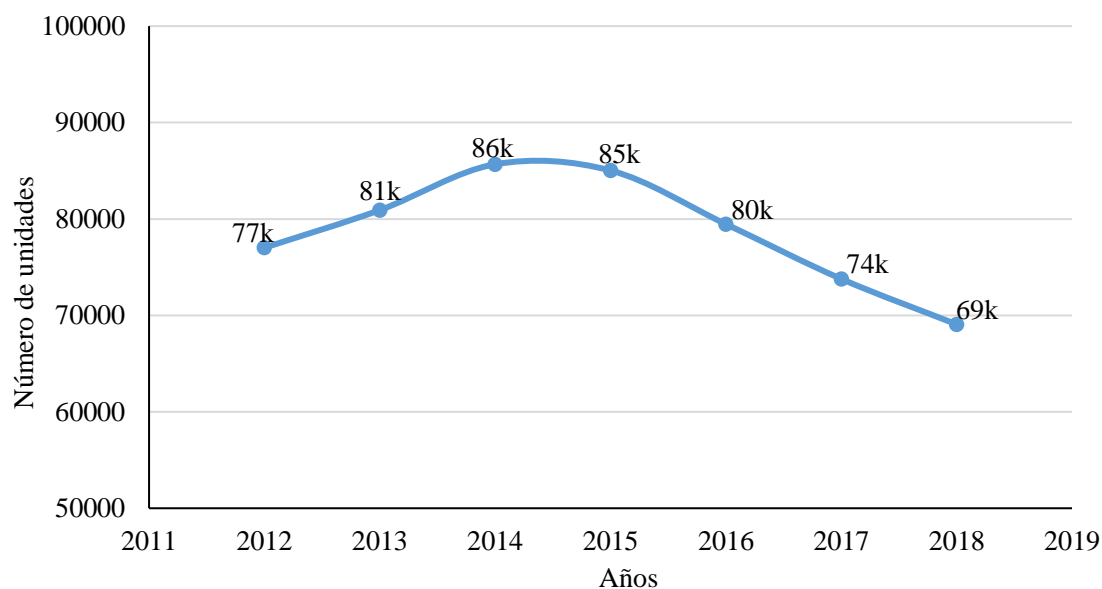
Al igual que en la generación de residuos para el Ecuador, el periodo 2012-2016 no cuenta con la totalidad de flujos de residuos de los 6 años. Para completar la curva de distribución se consideró el promedio del flujo neto de teléfonos celulares presentados en la Tabla 24 equivalente a 75 443 y se aplicó el mismo criterio utilizado en la Tabla 27. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 29 y la Figura 15.

Tabla 29. *Cantidad de residuos de teléfonos celulares (unidades) en el cantón Cuenca para el período 2012-2018*

Años	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
	6 328	18 137	33 276	33 276	18 137	5 382	
2006	3 516	3 941	11 295	20 723	20 723	11 295	3 352
2007	11 849	3 516	3 996	11 453	21 012	21 012	11 453
2008	21 739	11 849	3 516	4 211	12 069	22 143	22 143
2009	21 739	21 739	11 849	3 516	4 010	11 494	21 088
2010	11 849	21 739	21 739	11 849	3 516	2 457	7 041
							3 996
Total	77 019	80 920	85 671	85 028	79 468	73 783	69 072

Elaboración: Autores.





*Figura 15.* Generación estimada de residuos de teléfonos celulares en el cantón Cuenca 2012-2018

Elaboración: Autores.

### 3.6 Análisis del flujo de materiales

La información sobre el flujo de materiales de los residuos eléctricos y electrónicos facilita el diseño y la adopción estratégica de medidas de gestión y permite estimar la escala y las posibles consecuencias de su mal manejo. Sin embargo, resulta complejo obtener información precisa pues a menudo esta es reportada en las estadísticas nacionales de producción, ventas y bienes comercializados (Nnorom & Osibanjo, 2008).

Un AEE en desuso puede terminar en distintos canales de flujo. Generalmente es almacenado, reusado, donado a un tercero, reparado para la compra y venta de segunda o entregado a un recolector informal o formal para su posterior manejo (Ott, 2008).

#### 3.6.1 Recolección informal.

La baja disponibilidad de sitios adecuados para la disposición de residuos y los altos índices de desempleo son una de las principales razones que inciden en la creación de sistemas informales de recolección, los cuales no garantizan la protección de los trabajadores frente a la manipulación y exposición a materiales tóxicos. (Paiva & Perelman, 2008). Los sistemas informales de recolección y aprovechamiento están presentes en varios países alrededor del mundo. Ghana y Nigeria presentan un sector informal exitoso de RAEE, con tasas de recolección estimadas en 95%. (E-waste Africa Programme, 2011)

En el Ecuador la información sobre la recolección informal de RAEE es escasa. En Cuenca, en el “Taller con los recicladores, gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos” realizado por el proyecto “Enhancing the Social Value of the Circular Economy in Latin America” y llevado a cabo el 28 de julio del 2018 en la Universidad de Cuenca (Ver Anexo 2), se expresaron testimonios como:

- “Sacamos el cobre de atrás de los televisores grandes y de las refrigeradoras”
- “Por el motor de una refrigeradora nos pagan \$2 dólares”
- “No recogemos celulares; si nos encontramos uno le hacemos ver, si todavía vale nos quedamos con él sino lo botamos”
- “No recogemos esos aparatos porque no hay a quien vender”
- “Antes llegaban esos aparatos en la funda azul al relleno, pero desde hace algunos años ya no “

Además, en conversaciones con técnicos especializados de la EMAC (Ver Anexo 3), entidad que mantiene contacto constante con asociaciones de recicladores y recicladores independientes, se expuso que los mismos no reportan dispositivos electrónicos pequeños durante su recolección. A falta de información formal y en base a las opiniones vertidas en este taller podemos decir que la recolección informal de RAEE está dirigida a electrodomésticos grandes como refrigeradores, lavadores y televisores por la cantidad de cobre que contienen, mientras que la recolección de equipos pequeños como computadoras portátiles y celulares es casi nula. Estos no figuran entre sus intereses de recolección ya que no poseen mercado.

### **3.6.2 Recolección formal.**

Un sistema funcional de gestión de RAEE parte de una recolección eficiente. Alrededor del mundo son varios los países que han emprendido esfuerzos por mejorarla. Tal es el caso de los países pertenecientes a la Unión Europea quienes han implementado diversos mecanismos de recolección formal y, basándose en la aplicación del principio de responsabilidad extendida del productor (principio bajo el cual productores son responsables del producto que ponen por primera vez en el mercado durante todo su ciclo de vida), propusieron para el 2016 un índice mínimo de recolección del 45 %, el cual para el 2019 deberá aumentar hasta un 65% y en los 3 años posteriores alcanzar el 85 % (Parlamento Europeo, 2012).

En el Ecuador a partir del 2013 la Subsecretaría de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente a través del “Proyecto Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos”, realiza la regulación y control de los Acuerdos Ministeriales Nro. 190 y 191 los cuales hacen referencia a la “Política Nacional de Post-Consumo de Equipos Eléctricos y Electrónicos” y al “Instructivo para reciclaje de celulares” respectivamente (MAE, 2018). En coordinación con la Secretaría Técnica del Comité de Comercio Exterior (COMEX) se estipuló que “Los importadores o fabricantes nacionales de equipos celulares deben presentar declaraciones mensuales de recepción, manejo y transferencia de equipos celulares en desuso, los últimos cinco (5) días de cada mes, a partir de la obtención del número de registro de generador de desechos peligrosos y especiales. (...)”. Por ello, y en función del cupo normal de importación, el MAE estableció como meta nacional de recolección el 3% de ese total. Los datos de recolección debían ser enviados al COMEX, entidad encargada de calcular el número de unidades adicionales al cupo normal que se podían importar, según la tasa de 2.5 a 1, que significa que por cada cinco celulares gestionados, se podía traer dos nuevos (MAE, 2013).

A partir del 30 de diciembre de 2015 mediante la Resolución No. 049-2015 “se establece una cuota global para la importación a consumo de teléfonos celulares equivalentes a USD250'000.000 en valor FOB que no podrá superar el total de 2'663.762 unidades físicas, para la importación de celulares clasificados en las subpartidas arancelarias 8517.12.00.29 (Smartphone), 8517.12.00.39 (Feature phones) y 8517.12.00.99 (teléfonos de otras redes inalámbricas). (...)” (MAE-PNGIDS, 2018).

De acuerdo a los datos oficiales de recolección formal proporcionados por el MAE presentados en la Tabla 30, en el país se recolectaron 916 002 unidades de residuos de teléfonos celulares durante el periodo 2013- 2018. A partir del año 2016 se observa una reducción en el número de unidades recolectadas, debido a la puesta en vigencia de la Resolución No. 049-2015 mencionada anteriormente.

Tabla 30. *Datos oficiales del MAE sobre recolección de residuos de teléfonos celulares para el periodo 2013-2018*

Año	Unidades
2013	308280
2014	279452
2015	226252
2016	41356
2017	49649
2018 (Ene-Jul)	11013

Fuente: MAE (2018).

### 3.6.3 Gestores nacionales.

En el país la gestión de RAEE se encuentra a cargo de empresas recicladoras como Intercia, Comexport y Vermonde (MAE, 2012b), siendo esta última el único gestor especializado en residuos eléctricos y electrónicos en el país (Vertmonde, 2018). Los procedimientos realizados para los residuos de teléfonos celulares por parte de las recicladoras son básicos; mediante procesos manuales remueven baterías y se extraen tornillos, los materiales no aprovechables son descartados y el resto de componentes se exportan a gestores internacionales (Vertmonde, 2018).

### 3.6.4 Gestores internacionales.

Una vez que los residuos de teléfonos celulares son exportados y llegan a su país de destino atraviesan una etapa de pre-procesamiento y procesamiento final, como parte de la cadena de reciclaje (Wang et al., 2012).

#### 3.6.4.1 Pre-procesamiento.

Permite liberar y aislar los materiales de interés, mediante la utilización de procesos físicos y mecánicos (Wang et al., 2012).

Estos procesos incluyen generalmente una destrucción inicial de los equipos para una posterior separación manual, en donde se recuperan objetos valiosos como placas de circuitos integrados (PCBs) y cables. El material restante es triturado y clasificado de acuerdo a sus propiedades físicas, mediante separadores automáticos (Vanegas, Peeters, Plessers, Cattrysse, & Duflou, 2014).

#### **3.6.4.2 Procesamiento final.**

Es la etapa final de la cadena de reciclaje. En ella se utilizan procesos químicos, térmicos y metalúrgicos para refinar y purificar los materiales, siendo necesaria una inversión económica considerable en tecnologías que permitan altas tasas de recuperación y minimicen el impacto ambiental. Alrededor del mundo son pocas las empresas que realizan estos procesos, siendo algunas de ellas: Boliden en Suecia, Aurubis AG en Alemania, DOWA en Japón, Umicore en Bélgica y Xstrata en Canadá (Wang et al., 2012).

#### **3.6.5 Flujo de materiales de los residuos de teléfonos celulares en el Ecuador.**

El flujo de materiales de los residuos de teléfonos celulares en el Ecuador es incierto. Los únicos valores disponibles son los de recolección formal proporcionados por el MAE, mostrados en la Tabla 30. Para calcular los otros canales de flujo de materiales se utilizaron los porcentajes de 5% para teléfonos donados a un tercero y 5% para teléfonos reparados, presentados en el estudio de Ríos (2016) realizado en Colombia, los cuales fueron obtenidos mediante una encuesta. Los teléfonos almacenados en los hogares se consideraron como la diferencia entre los residuos de teléfonos celulares generados y la suma de los teléfonos recolectados por el MAE, donados a un tercero y reparados. De acuerdo a la información presentada en el apartado 3.6.1, se asumió que no existe recolección informal. Además, mediante una visita técnica realizada en el relleno sanitario de Pichacay (Ver Anexo 4), se constató que estos residuos no llegan a este lugar.

El número de unidades correspondiente a cada canal del flujo de materiales se calculó empleando las consideraciones mencionadas en el párrafo anterior y de acuerdo a los valores de la generación de residuos estimada para el período 2012-2018, presentados en la Tabla 27. El 2018 no se consideró en este análisis ya que, al ser el año en curso, la información de recolección es incompleta. Los resultados se muestran en la Tabla 31 y la Figura 16.

Tabla 31. *Flujo de materiales de los residuos de teléfonos celulares en el Ecuador para el periodo 2012-2017*

Residuos	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Generados	2 137 301	2 232 745	2 348 393	2 328 359	2 197 594	2 068 356
Recolectados	*	308 280	279 452	226 252	413 56	49 649
Reparados	1 06 865	111 637	117 420	116 418	109 880	103 418
Donados a un tercero	106 865	111 637	117 420	116 418	109 880	103 418
Almacenados en el hogar	1 923 570	1 701 191	1 834 102	1 869 271	1 936 478	1 811 872

\*Ausencia de recolección formal de residuos de teléfonos celulares.

Elaboración: Autores.

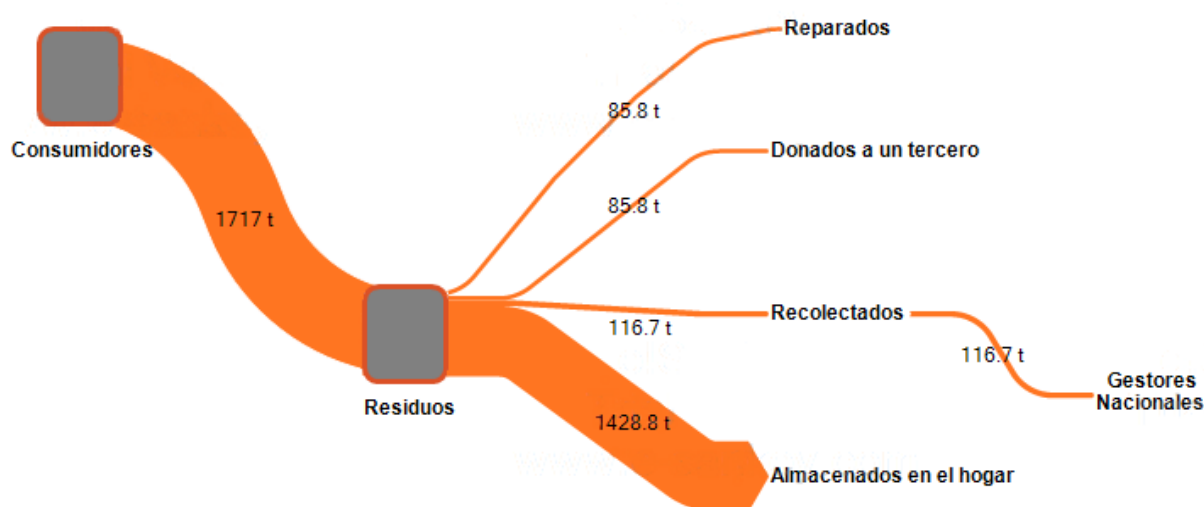


Figura 16. *Flujo de materiales de los residuos de teléfonos celulares en el Ecuador para el periodo 2012-2017*

Elaboración: Autores.

### 3.7 Análisis del ciclo de vida

La evaluación del impacto ambiental del final del ciclo de vida de los residuos de teléfonos celulares se realizó de acuerdo a las tres fases descritas en la metodología establecida por la Norma ISO 14040 y presentada en la Figura 17.

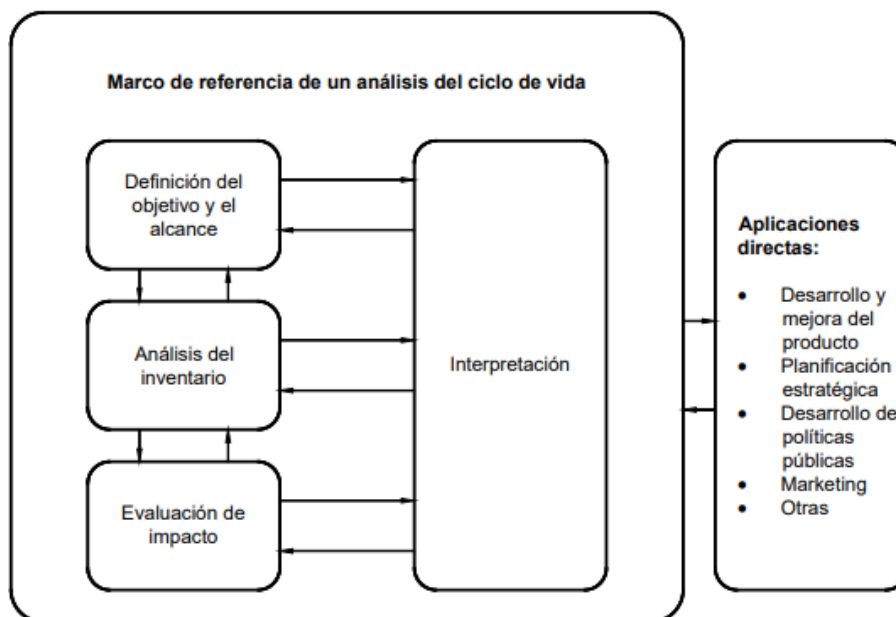


Figura 17. Fases de un análisis del ciclo de vida  
Fuente: Norma ISO 14040.

### 3.7.1 Definición del objetivo y el alcance

Como se mencionó anteriormente, en este estudio se realizó un ACV del final del ciclo de vida de los residuos de teléfonos celulares. Utilizando la base de datos proporcionada por Ecoinvent se determinaron los milipuntos (mPts) de impacto generados durante el tratamiento y reciclaje de los dispositivos, considerando tres diferentes escenarios. Además, se analizó el impacto que puede ser evitado gracias a la recuperación de materiales valiosos para la industria. Se asumió que las baterías de los residuos de teléfonos celulares son removidas para ser tratadas como residuos peligrosos de acuerdo a lo establecido en el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA) (Ver Anexo 5), por lo que no fueron consideradas en este estudio. Los escenarios propuestos se describen a continuación.

- Escenario 1

En este escenario se consideró un pre-procesamiento mecánico, el cual es el método más comúnmente utilizado en países industrializados para la recuperación de materiales, debido principalmente a los elevados costos de mano de obra (Schluep et al., 2009). Los residuos de teléfonos celulares son triturados y posteriormente separados mediante técnicas de clasificación automatizadas, en base a sus propiedades físicas. Para el procesamiento final, las fracciones de PCBs, ricas en metales preciosos y en cobre son enviadas a refinerías de metales para la

recuperación de Ag, Au, Pd y Cu, mientras que el aluminio y materiales ferrosos se envían a empresas recicladoras de estos metales. El diagrama del proceso se presenta en la Figura 18.

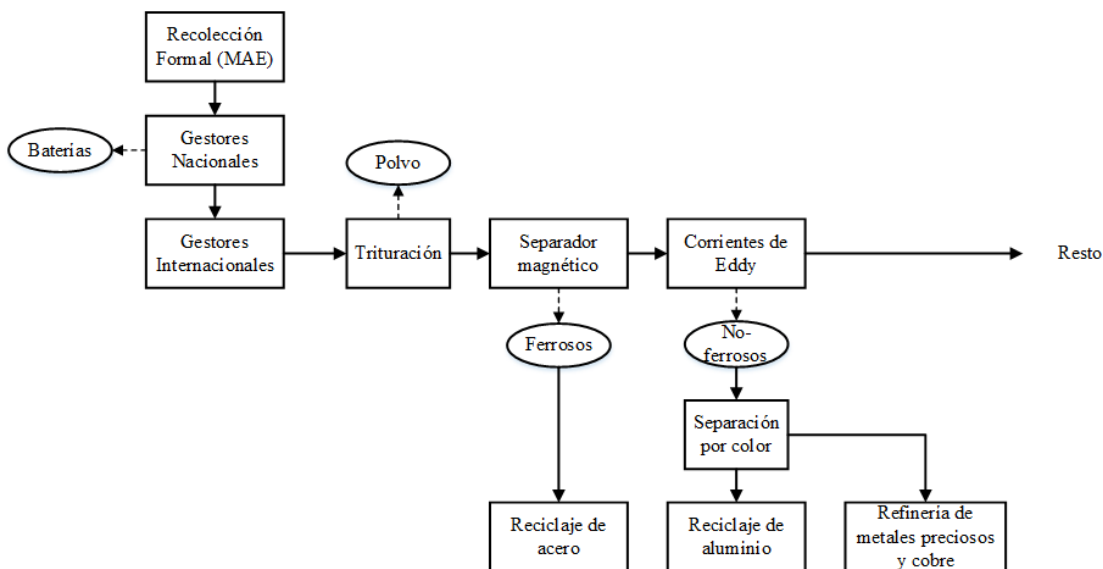


Figura 18. Diagrama del proceso: Escenario 1  
Elaboración: Autores.

- Escenario 2

En países en vías de desarrollo, el tratamiento manual suele ser la mejor opción debido al bajo costo de la mano de obra (Schluep et al., 2009). Se consideró que los residuos de teléfonos celulares son desensamblados manualmente en el Ecuador y separados en PCBs, pantallas, plásticos y carcasas. Posteriormente, las pantallas son enviadas al relleno sanitario, los PCBs son exportados hacia gestores internacionales para la recuperación de Ag, Au, Pd y Cu en una refinería de metales, mientras que los plásticos y las carcasas, hechas totalmente de aluminio, son enviados a empresas nacionales de reciclaje. El diagrama del proceso se presenta en la Figura 19.



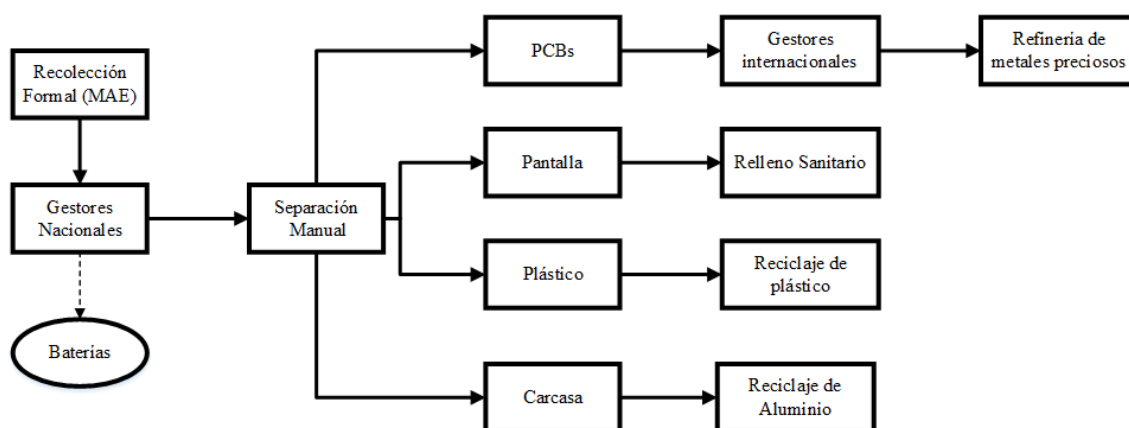


Figura 19. Diagrama del proceso: Escenario 2  
Elaboración: Autores.

- Escenario 3

En este escenario se consideró que los residuos de teléfonos celulares son exportados hacia gestores internacionales en donde, sin ningún tratamiento previo, son enviados directamente a refinerías de metales para la recuperación de Ag, Au, Pd y Cu. El diagrama del proceso se muestra en la Figura 20.

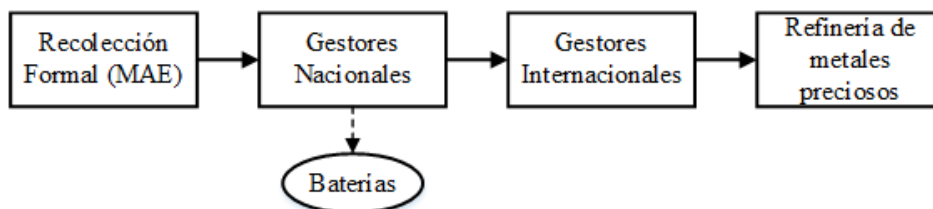


Figura 20. Diagrama del proceso: Escenario 3  
Elaboración: Autores.

### 3.7.2 Análisis del inventario

Para los tres escenarios propuestos se utilizó como entrada del sistema la cantidad de residuos de teléfonos celulares recolectados mediante canales formales en el Ecuador durante el período 2013-2017 (ver Tabla 31) y, de acuerdo con la composición promedio para un teléfono celular presentada en las Tablas 5, 6, 7 y 8, se determinó la cantidad en gramos de cada elemento analizado. El detalle del flujo de materiales se describe a continuación.

- Escenario 1

Las eficiencias del tratamiento mecánico (pre-procesamiento) y el procesamiento final se basan en las estimaciones realizadas por Chancerel, Meskers, Hagelueken, & Rotter (2009)<sup>a</sup>, Bigum (2014)<sup>b</sup> y Schluep et al. (2009)<sup>c</sup>. Los resultados se muestran en la Tabla 32.

Tabla 32 *Eficiencias de pre-procesamiento y procesamiento final: Escenario 1*

Materiales	Entrada	Pre-procesamiento <sup>a</sup>		Procesamiento final <sup>c</sup>	
	Masa (g)	Eficiencia (%)	Salida (g)	Eficiencia (%)	Salida (g)
Ag	307 696	5.3	16 274	95	15 460
Au	12 670	10.3	1 309	95	1 244
Pd	13 575	9.6	1 299	95	1 234
Cu	7 095 114	13.8	976 983	95	928 134
Al	26 371 379	55.1	14 523 481	79 <sup>b</sup>	11 473 550
Fe	16 859 945	90.7	15 295 151	100 <sup>b</sup>	15 295 151

Elaboración: Autores.

De acuerdo a la cantidad de cada elemento en la salida del sistema, se calculó el impacto ambiental generado durante su procesamiento, así como el impacto ambiental evitado gracias a su recuperación. Los resultados se muestran en la Tabla 33.

Tabla 33. *Impacto ambiental generado y evitado (mPts): Escenario 1*

Materiales	Impacto ambiental generado		Impacto ambiental evitado	
	mPts/g	mPts	mPts/g	mPts
Ag	1.13	17 470	-51.1	-790 011
Au	66.10	82 198	-10000	-12 435 399
Pd	34.60	42 696	-10900	-13 450 619
Cu	0.01	7 425	-2.88	-2 673 026
Al	0.175	2 007 871	-0.919	-10 544 192
Fe	0.0847	1 295 499	-0.24	-3 670 836

Elaboración: Autores.

- Escenario 2

Para el desensamble manual (pre-procesamiento) se asumió una eficiencia del 100% en la recuperación de PCBs, plásticos y carcasas. Para el procesamiento final del plástico se utilizó la eficiencia descrita por Chandrasekaran, Avasarala, Murali, Rajagopalan, & Sharma (2018), mientras que para el procesamiento final se utilizaron las eficiencias descritas en la Tabla 32. Los resultados se muestran en la Tabla 34.

Tabla 34. *Eficiencias de pre-procesamiento y procesamiento final: Escenario 2*

Entrada		Pre-procesamiento		Procesamiento final			
Masa (g)	Categoría	Eficiencia (%)	Salida (g)	Elementos	(g)	Eficiencia (%)	Salida (g)
90 218 353	PCB	100	35 321 721	Ag	307 696	95	292 311
				Au	12 670	95	12 036
				Pd	13 575	95	12 896
				Cu	7 095 114	95	6 740 358
	Plástico	100	4 524 945	Plástico	4 524 945	89	4 027 201
	Carcasa	100	23 529 714	Al	23 529 714	79	18 588 474

Elaboración: Autores.

Al igual que con el escenario anterior, se calculó el impacto ambiental generado durante el procesamiento de los materiales, así como el impacto ambiental evitado gracias a su recuperación. Los resultados se muestran en la Tabla 35.

Tabla 35. *Impacto ambiental generado y evitado (mPts): Escenario 2*

Impacto ambiental generado			Impacto ambiental evitado	
Materiales	mPts/g	mPts	mPts/g	mPts
Ag	1.13	330 312	-51.1	-14 937 115
Au	66.1	795 603	-10000	-120 363 537
Pd	34.6	446 205	-10900	-140 567 416
Cu	0.008	53 923	-2.88	-19 412 231
Al	0.175	3 252 983	-0.919	-17 082 808
Plásticos	0.0358	144 174	-0.804	-3 237 870

Elaboración: Autores.

- Escenario 3

Se utilizaron las eficiencias del procesamiento final descritas en la Tabla 32. Los resultados se muestran en la Tabla 36.

Tabla 36. *Eficiencias de procesamiento final: Escenario 3*

Entrada		Procesamiento final	
Materiales	(g)	Eficiencia (%)	Salida (g)
Ag	307 696	95	292 311
Au	12 670	95	12 036
Pd	13 575	95	12 896
Cu	7 095 114	95	6 740 358

Elaboración: Autores.

El impacto ambiental generado y evitado se muestra en la Tabla 37.

Tabla 37. *Impacto ambiental generado y evitado (mPts): Escenario 3*

Impacto ambiental generado			Impacto ambiental evitado	
Materiales	mPt/g	mPt	mPt/g	mPt
Ag	1.13	330 312	-51.1	-14 937 115
Au	66.10	795 603	-10000	-120 363 537
Pd	34.60	446 205	-10900	-140 567 416
Cu	0.01	53 923	-2.88	-19 412 231

Elaboración: Autores.

### 3.7.3 Evaluación de impacto

En esta evaluación, el impacto ambiental generado por el transporte de los residuos en los tres escenarios propuestos no ha sido considerado. Además, debido a las limitaciones de la información disponible, no se pudo considerar el impacto ambiental generado por la disposición de las pantallas en el relleno sanitario para el escenario 2, así como tampoco se consideró el impacto del procesamiento de aquellos elementos que, aunque no son recuperados, ingresan en la etapa de procesamiento final. Los resultados se presentan en la Figura 21.

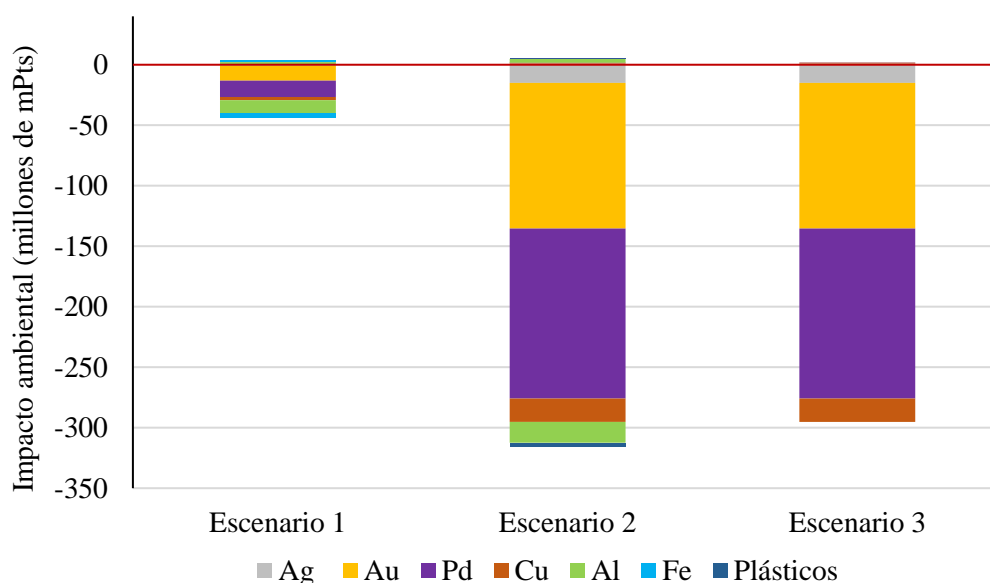


Figura 21. Evaluación del impacto ambiental de los tres escenarios propuestos (mPts)  
Elaboración: Autores.

### 3.8 Valoración económica

Utilizando la cantidad de materiales en la salida de los diferentes escenarios, se calculó el valor económico en dólares (\$) que se puede recuperar en cada uno. En esta evaluación no se

consideraron los costos de transporte, mano de obra y procesamiento de materiales. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 38 y la Figura 22.

Tabla 38. *Evaluación económica de los tres escenarios propuestos (\$)*

Materiales	Valor económico (\$/g)	Fuente	Valor económico recuperado (\$)		
			Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Ag	0.52	(InfoMine, 2018)	8 039	152 002	152 002
Au	40.41		50 251	486 389	486 389
Pd	30.53		37 674	393 718	393 718
Cu	0.0066		23 756	44 486	44 486
Al	0.0021		25 242	40 895	0
Fe	0.000071	(Plastics Insight, 2017)	1 086	0	0
Plásticos	0.07		0	281 904	0

Elaboración: Autores.

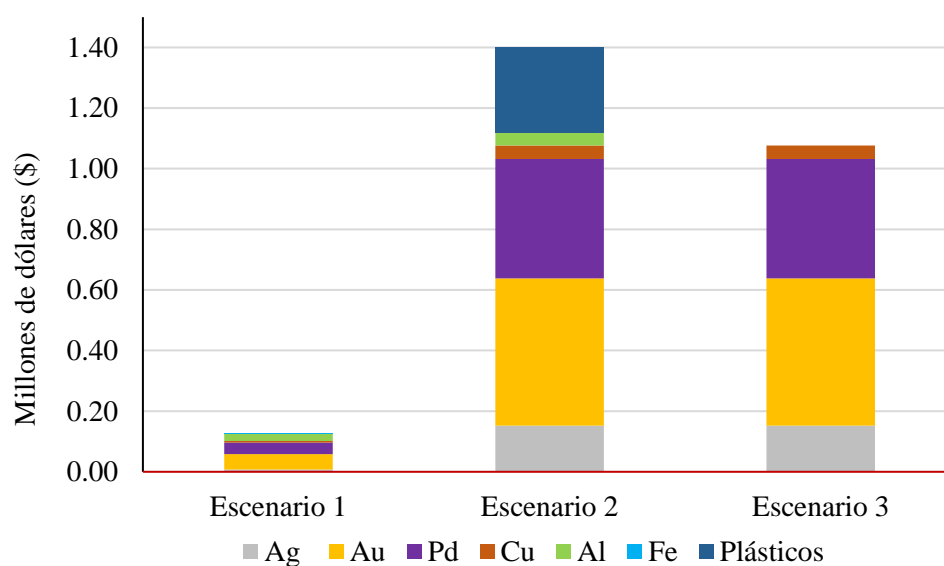


Figura 22. *Evaluación económica de los tres escenarios propuestos (\$)*  
Elaboración: Autores.

### 3.9 Revisión bibliográfica de modelos de predicción

Estimar la cantidad generada de RAEE constituye el primer paso en la planificación de una gestión adecuada y en la comprensión del flujo del material. Alrededor del mundo se han desarrollados diversos estudios centrados en métodos de estimación (Ikhlayel, 2018), algunos de ellos se describen a continuación:

### 3.9.1 Método del paso de tiempo (Time step)

Este método estima los residuos en función de las ventas y el stock de un producto. La cantidad de residuos equivale a las ventas menos la diferencia entre las entradas y salidas del stock (Araújo, Magrini, Mahler, & Bilitewski, 2012), como se expresa en las ecuaciones 1 y 2.

$$WEEE(t) = S(t) - \{St(t) - St(t-1)\} \quad (1)$$

$$S(t) = I(t) + P(t) - E(t) \quad (2)$$

En donde:

- $S(t)$ : ventas
- $St(t)$ : stock
- $I(t)$ : importaciones
- $P(t)$ : producción
- $E(t)$ : exportaciones

### 3.9.2 Método de la oferta del mercado (Market supply)

Para el cálculo de la generación de residuos este método asume que el equipo vendido en un año en particular se convertirá en desecho al alcanzar su tiempo de vida útil. Además, se considera que existe una varianza insignificante en la vida útil promedio de los equipos electrónicos (van der Voet, Kleijn, Huele, Ishikawa, & Verkuijlen, 2002). Este método se expresa en la ecuación 3.

$$W(n) = \sum_{t=to}^n POM(t) * L^p(t, n) \quad (3)$$

Donde:

- $POM(t)$ : Venta de productos en el año histórico  $t$
- $to$ : Año inicial en que un producto se ha puesto en el mercado
- $L(p)(t, n)$ : Tasa de obsolescencia probabilística en el año de evaluación  $n$

### 3.9.3 Carnegie Mellon University

Este método se enfoca en la estimación de la generación de residuos de computadoras empleando parámetros de reutilización y almacenamiento que retrasan su entrada en el flujo de desechos, basándose en datos de ventas. Sin embargo, el modelo es aplicable solo para los EE. UU. (Matthews, Hendrickson, Mcmichael, & Hart, 1997).

De los modelos antes mencionados ninguno de ellos se puede usar para una correcta predicción de la velocidad a la que emergerá un flujo de residuos, debido a que mantienen una vida útil constante y no consideran la realidad de desecho de cada flujo (Peeters et al., 2017).

### 3.9.4 Método de la Distribución retardada (Distribution Delay)

Estima la generación de residuos utilizando las ventas distribuidas en el intervalo de la vida útil de los dispositivos (Melo, 1999), y se presenta en la ecuación 4.

$$G_t = \sum_i [(P_{t-i} - E_{t-i} + I_{t-i})p_t(I)] \quad (4)$$

En donde:

- G: cantidad de residuos
- P: producción
- E: exportaciones
- I: importaciones
- $p_t$ : probabilidad de que los dispositivos se vuelvan residuos en el año t

### 3.9.5 Método de uso y consumo (Consumption and use)

Para la estimación de la generación de residuos, se considera un número promedio de equipos eléctricos y electrónicos para un hogar típico y la vida útil del producto. Este método se puede aplicar a un mercado saturado al suponer que cada hogar es propietario, al menos, de un dispositivo (Widmer, Oswald-Krapf, Sinha-Khetriwal, Schnellmann, & Böni, 2005).

$$WEEE_w(t) = \frac{H(t)N_h(t)W}{L} \quad (5)$$

Donde

- $H(t)$ : Número de hogares,
- $N_h(t)$ : Nivel de saturación por hogar
- W: Peso promedio de EEE
- L: Vida útil promedio.

### **3.9.6 Análisis del flujo de Materiales**

Los RAEE poseen diferentes flujos de descarte lo que dificulta su evaluación, por ello que la adopción del análisis del flujo de materiales se emplea como método de estimación para la generación de residuos este se basa en el principio de conservación de materiales y constituye una herramienta consolidada para la toma de decisiones a menudo se complementa con otros métodos o supuestos relevantes para estimar la cantidad de RAEE (Yedla, 2016).

En la Tabla 39 se presentan los aspectos más relevantes sobre los modelos de predicción de RAEE antes mencionados.



Tabla 39. Matriz de resumen sobre modelos de predicción de RAEE

Método	Región	Parámetros de entrada requeridos						Aplicabilidad			Estudios de referencia
		Ventas	Stock en hogares	Stock	Reúso	Oferta del mercado	Peso promedio	Vida media	Mercado Saturado	Mercado Dinámico	
Paso del tiempo	Brasil	x		x					x	x	(F. Wang, Huisman, Stevels, & Baldé, 2013), (Araújo et al., 2012)
Distribución retardada	Alemania	x						x	x	x	(Polák & Drápalová, 2012), (Peeters et al., 2017)
Oferta del mercado	Alemania		x			x	x	x	x		(Dwivedy & Mittal, 2010), (P. Kumar & Shrihari, 2007)
Uso y Consumo	Países Bajos		x					x	x	x	(Lau et al., 2013), (Alavi, Shirmardi, Babaei, Takdastan, & Bagheri, 2015)
Carnegie Mellon University	Estados Unidos	x	x		x						(Widmer et al., 2005)
Análisis del Flujo de Materiales		x							x	x	(Steubing, Böni, Schluep, Silva, & Ludwig, 2010), (Yedla, 2016)

Elaboración: Autores.

### **3.10 Revisión bibliográfica de modelos de predicción en América Latina**

Los problemas asociados con los RAEE en países en vías de desarrollo se centran en el rápido crecimiento de las tasas de generación, la ausencia de sistemas formales de recolección, el inadecuado manejo, la debilidad en la legislación (Ikhlayel, 2018) y la falta de métodos estandarizados para su estimación, siendo este último esencial para una gestión adecuada (Pérez-Belis, Bovea, & Ibáñez-Forés, 2015). Bajo este contexto en realidades Latino Americanas se ha realizado diferentes estudios con el propósito de estimar la generación de RAEE, algunos de los cuales se describen a continuación.

#### **3.10.1 México**

El Instituto Politécnico Nacional de Ecología realizó un estudio en el 2007 sobre la generación de residuos electrónicos en México durante el período 2000-2005. Se utilizó información estadística de cinco AEE (grabadores/reproductores de sonido, computadoras portátiles y de escritorio, televisores teléfonos fijos y teléfonos celulares), asumiendo que la cantidad potencial de residuos generados es igual al número de aparatos producidos, más los aparatos importados y menos los aparatos que son exportados (Román, 2007).

Posteriormente en el año 2015 en la ciudad de Culiacán Sinaloa se propuso un modelo para estimar las cantidades de RAEE. El modelo considera que la cantidad generada de residuo de un AEE en específico durante un periodo de tiempo depende de su número de usuarios y de la probabilidad de desecho durante el año correspondiente. Estos datos se obtuvieron de una encuesta aplicada en la ciudad en el año 2013 denominada “RAEE-CLN 2013” (Citlalli et al., 2015).

#### **3.10.2 Colombia**

Ott (2008) realizó un diagnóstico del manejo de los RAEE en Colombia, con el apoyo y asesoría de la EMPA. Se utilizaron computadoras y teléfonos móviles como objetos de estudio, aplicando la metodología de Análisis de Flujos de Materiales. Para realizar las estimaciones de residuos de computadoras se utilizaron 5 diferentes escenarios con distintas asunciones, presentados en la Tabla 40.

Tabla 40. *Escenarios utilizados en el modelo de predicción de Ott (2008)*

Nombre del Escenario	Datos utilizados	Suposiciones
E1: Importaciones	Cifras de importaciones de: PCs de escritorio PCs portátiles Monitores Componentes	Vida útil en promedio: 7 años (lo que entró al país según cifras de importación se convierte en residuo después de 7 años)
E2: Venta / Obsolescencia	Cifras de ventas Tasa de obsolescencia	Tasa de obsolescencia anual del 11% de la base instalada
E3: Venta / Obsolescencia/ Portátiles	Cifras de ventas Tasa de obsolescencia Porcentaje de Portátiles	Tasa de obsolescencia anual del 11% de la base instalada Peso promedio PC de escritorio: 23 kg Peso promedio portátil: 3 kg
E4: Venta / Vida Útil	Cifras de ventas Vida útil	Vida útil de Pc de escritorio: 7 años
E5: Venta / Vida Útil / Portátiles	Cifras de ventas Vida útil Porcentaje portátiles	Vida útil de Pc de escritorio: 7 años Vida útil portátil: 4 años

Fuente: Ott (2008).

Por otro lado, para estimar la cantidad de residuos de teléfonos móviles se consideraron 4 escenarios: una vida útil de 2 años, importaciones, líneas nuevas y vida útil de 3 años. Sin embargo, el detalle de los escenarios no se menciona en el documento.

### 3.10.3 Perú

En Perú Espinoza, Villar, Postigo, & Villaverde (2008) y Villaverde, Baudin, & Martínez (2011) realizaron diagnósticos del manejo de los RAEE en colaboración con la EMPA, para los cuales se utilizaron computadoras y teléfonos móviles como objetos de estudio. En ambos casos se consideró una vida útil promedio (7 y 2 años respectivamente) y sus valores anuales de importación. Para la estimación de residuos se empleó MFA asumiendo que todos los equipos son descartados luego de cumplida su vida útil.

### 3.10.4 Chile

En Chile se llevó a cabo un análisis del flujo de materiales de la generación de desechos electrónicos de equipos informáticos (computadoras de escritorio y portátiles, así como monitores CRT y LCD). Las empresas, los hogares y el gobierno fueron modelados como primeros usuarios, que pueden reutilizar, almacenar o reciclar y desechar su equipo informático. La generación de desechos se evaluó en un escenario base, un escenario superior y un escenario

inferior hasta el 2020. El modelo empleo como datos de entrada valores de importación y ventas de equipos, tiempos de residencia y coeficientes de transferencia (Steubing et al., 2010).

### **3.10.5 Brasil**

En Brasil, se propuso un modelo alternativo para la estimación de RAEE diferenciándolos de acuerdo a su nivel de desarrollo del mercado en productos de mercados saturados y dinámicos. Para los productos del mercado saturado como refrigeradores, congeladores, lavadoras, televisores y sistemas de audio se aplicó el método de uso y consumo. Mientras que para los productos del mercado insaturado como computadoras y Teléfonos celulares, se aplicó el método de paso de tiempo (Araújo et al., 2012).

En el estado de Sao Paulo- Brasil se llevó a cabo un estudio centrado en el flujo de AEE originados en los hogares, para esto se seleccionó una muestra poblacional de 395 hogares a la cual se aplicó una encuesta domiciliar y se adoptó valores de vida útil y peso promedio para 26 tipos de equipos considerados en el estudio. La estimación de los equipos eléctricos y electrónicos descartados en determinado período de tiempo se consideró como la suma de la cantidad y el peso de AEE descartados en una unidad territorial (Rodrigues et al., 2015).

En la ciudad de Sao José dos Campos, estado de Sao Paulo, Brasil se llevó a cabo un estudio para determinar el consumo de AEE, la vida útil de los RAEE y los perfiles de eliminación en la ciudad, se seleccionaron 16 AEE considerando los más comunes en los hogares. Para la obtención de datos se empleó una encuesta dirigida a 459 hogares y como método de estimación de la generación de RAEE se utilizó “oferta del mercado” (Souza, Abbondanza, & Palanca, 2017).

En la Tabla 41, se presenta una recopilación de los aspectos más relevantes de los estudios antes mencionados, sobre modelos de predicción de RAEE en países latinoamericanos.

Tabla 41. *Matriz de resumen sobre modelos de predicción de RAEE en países latinoamericanos*

País	Año	Método	Datos de entrada	Principio Lógico	Fuente
México	2007	Propuesto	Producción Importación Exportación Peso del equipo	La cantidad potencial de residuos generados es igual al número de aparatos producidos, más los aparatos importados y menos los aparatos que son exportados	(Román, 2007)
	2015	Propuesto	Probabilidad de desecho, Total de equipos	La cantidad generada de residuo de un AEE en específico resulta del producto de la probabilidad de desecho y el total de equipos estimado durante el año correspondiente.	(Citlalli et al., 2015)
Colombia	2008	MFA	Importaciones, Ventas anuales, Vida útil, Tasa de obsolescencia	Todos los equipos ingresados en un año x son descartados luego de cumplida su vida útil.	(Ott, 2008)
Perú	2008	MFA	Importaciones Tiempo de vida útil	Todos los equipos ingresados en un año x son descartados luego de cumplida su vida útil.	(Espinoza et al., 2008)
	2011	MFA			(Villaverde et al., 2011)
Chile	2010	MFA	Importación, Ventas de anuales, Tiempos de residencia, Coeficientes de transferencia	Todos los equipos que salen en un año determinado, son iguales a todos los equipos que ingresar en años anteriores considerando su tiempo de residencia. La cantidad total de residuos generados es igual a la suma de todos los equipos que ingresan al proceso de reciclaje y eliminación.	(Steubing et al., 2010)
	2012	Método de uso y consumo	Tiempo de vida útil, Stock	La cantidad de RAEE generados en un año “x” es igual a total del stock del producto en uso sobre el tiempo promedio de vida útil	(Araújo et al., 2012)



País	Año	Método	Datos de entrada	Principio Lógico	Fuente
Brasil		Método de paso de tiempo	Ventas anuales, Stock	La cantidad de RAEE generados en un año “x” es igual al total de ventas menos el stock de un año específico	
	2015	Propuesto	Vida útil, peso promedio	La estimación de RAEE en determinado período de tiempo se consideró como la suma de la cantidad y el peso de AEE descartados en una unidad territorial.	(Rodrigues et al., 2015)
	2017	Oferta de Mercado	Ventas anuales, Tasa de obsolescencia	La generación de RAEE es igual a la sumatoria del producto entre las ventas del equipo en un año X y su tasa de obsolescencia	(Souza et al., 2017)

Elaboración: Autores.

### 3.11 Aplicación de modelos de predicción utilizados en Latinoamérica para el Ecuador

Entre los modelos empleados en realidades Latinoamericanas (ver Tabla 41) se seleccionaron aquellos cuyos parámetros de entrada pueden ser replicados en la realidad nacional, con el objetivo de comparar la variabilidad de resultados en la estimación de la generación de residuos de teléfonos celulares. Los modelos seleccionados se presentan en la Tabla 42.

Tabla 42. *Modelos seleccionados para su replicación en la realidad nacional*

País	Año	Parámetros de entrada	Referencia
México	2007	Importación Exportación Producción* Peso del equipo**	(Román, 2007)
Perú	2008 2010	Importaciones Tiempo de vida útil	(Espinoza et al., 2008) (Villaverde et al., 2011)
Brasil	2012	Ventas anuales*** Stock	(Araújo et al., 2012)

\*Se asumió que no existe producción nacional de teléfonos

\*\*Parámetro irrelevante para la estimación en unidades

\*\*\*Se emplearon valores de importación debido a la falta de información

Elaboración: Autores.

Los resultados obtenidos para la estimación de la generación de residuos aplicando los modelos seleccionados se presentan en la Tabla 43 y la Figura 23.

Tabla 43. *Resultados obtenidos para la estimación de residuos de teléfonos celulares, aplicando modelos utilizados en países latinoamericanos*

Año	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Aplicación Modelo México	3 121 582	1 930 937	2 073 843	2 179 418	2 067 418	1 265 798	2 050 048
Aplicación Modelo Perú			3 040 828	3 121 582	1 930 937	2 073 843	2 179 418
Aplicación Modelo Brasil	2 711 107	1 280 857	1 480 000	1 812 602	1 713 495	958 082	1 544 534
Modelo propuesto		2 137 301	2 232 745	2 348 393	2 328 359	2 197 594	2 068 356

Elaboración: Autores.

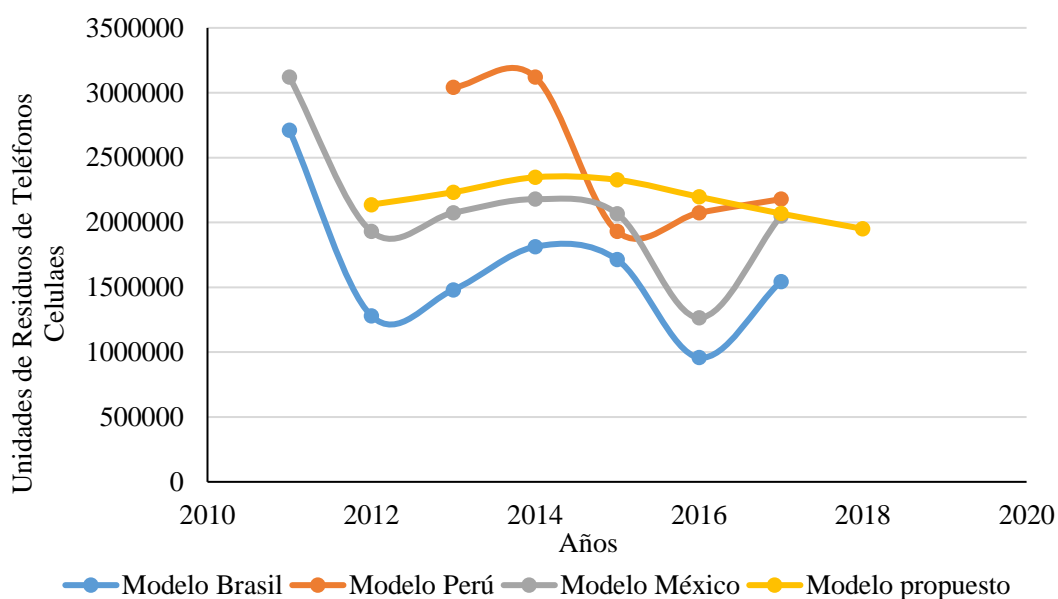


Figura 23. Resultados obtenidos para la estimación de residuos de teléfonos celulares, aplicando modelos utilizados en países latinoamericanos

Elaboración: Autores.

### 3.12 Análisis de Sensibilidad

Conocer la generación de residuos de teléfonos celulares resulta fundamental para definir un contexto aproximado de la realidad nacional. Debido a las asunciones realizadas para su estimación, se presenta cierta incertidumbre en los resultados (ver Tabla 27 y Figura 14). Por esta razón, se realizó un análisis de sensibilidad con el objetivo de evaluar el comportamiento de la curva de generación considerando un escenario superior e inferior. Para ello se empleó una distribución normal considerando una vida útil promedio de los dispositivos de 4 y 2 años con una desviación estándar de 1.59 y 0.91 respectivamente. Los resultados se muestran en la Tabla 44 y la Figura 24.



Tabla 44. *Análisis de sensibilidad de la generación de residuos de teléfonos celulares*

Años	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>Escenario Base*</b>	2 137 301	2 232 745	2 348 393	2 328 359	2 197 594	2 068 356	1 950 540
<b>Escenario Superior**</b>	2 116 250	2 157 368	2 236 934	2 300 403	2 288 487	2 191 003	2 080 169
<b>Escenario Inferior***</b>	2 208 147	2 418 853	2 377 290	2 134 909	2 064 990	1 971 129	1 757 942

\*Escenario estimado inicialmente (ver Tabla 27)

\*\*Desviación estándar ajustada con una línea de tendencia

\*\*\*Desviación estándar y vida útil promedio tomadas de los valores presentados por Souza et al (2017)

Elaboración: Autores.

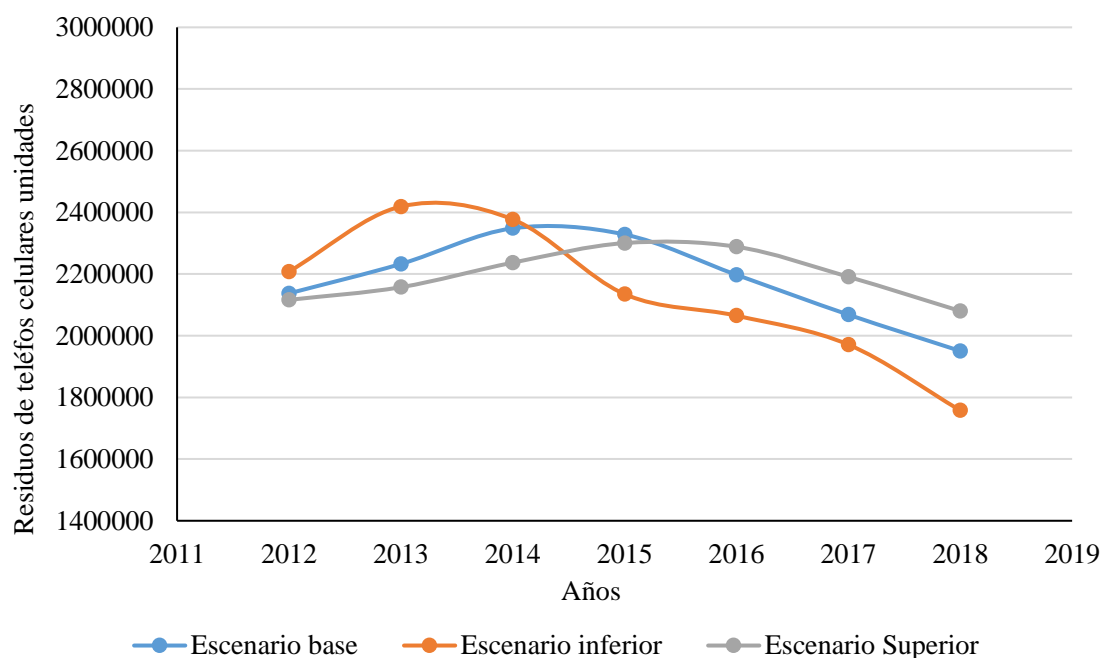


Figura 24. *Análisis de sensibilidad de la generación de residuos de teléfonos celulares*  
Elaboración: Autores.

#### 4 Resultados y Discusión

En el presente estudio se planteó un análisis del flujo de materiales y la evaluación del impacto ambiental de los RAEE. Para ello se utilizó como caso de estudio los residuos de teléfonos celulares.

Como primer paso se definió la composición de un teléfono celular, así como el impacto ambiental y el valor económico de sus elementos. Para ello y en función de la disponibilidad

de la información se trabajó con un iPhone 6. Es importante señalar que este no necesariamente representa la realidad nacional, pues no se considera la amplia variedad de modelos y marcas que existen actualmente en el mercado local. Sin embargo, supone una mayor precisión, pues en otros estudios relacionados (Ver Anexo 1) se evidenció una amplia variabilidad en la composición reportada.

En términos generales, un iPhone 6 se encuentra constituido por 40 elementos diferentes, con un peso total de 129 g. Su impacto ambiental es de aproximadamente 408 mPts y el valor económico de sus materiales es de alrededor de \$2.35. Entre sus componentes principales figuran: Pantalla, Batería, Carcasa y PCB. Este último representa el 30% del peso del dispositivo, y en su composición se encuentran metales preciosos como Ag, Au y Pd que, pese a su baja representatividad másica, poseen la mayor relevancia ambiental y económica, por lo que son considerados elementos de interés en la minería urbana de RAEE.

Si comparamos el potencial de extracción de dos proyectos mineros emblemáticos del Ecuador (Banco Central del Ecuador, 2017): Río Blanco (8.6 g/t de oro y 61 g/t de plata), y Fruta del Norte (9.67 g/t de oro y 12,7 g/t de plata) (International Minerals, 2009), con el de una tonelada de residuos de teléfonos celulares, en donde existen 108.53 g de oro y 2 640 g de plata, la minería urbana sería capaz de extraer al menos 11 veces más oro y 43 veces más plata que en la minería tradicional en el país. Sin embargo, esta práctica presenta algunos retos para convertirse en un sistema eficaz, e implica aspectos sociales, políticos, económicos y tecnológicos (Fink et al., 2011).

Luego de analizar las dimensiones másica, ambiental y económica de un teléfono celular, se procedió con la estimación de la generación de sus residuos. Se determinó que anualmente en el Ecuador 2 180 470 unidades de dispositivos son descartados, lo cual es consistente con la información presentada por el MAE (2012b), en donde de acuerdo al reporte de las empresas de telefonía móvil, anualmente se desechan 2 millones de equipos. Para el cantón Cuenca la generación anual promedio se estimó en 78 709 unidades. Sin embargo, al haber sido calculadas en función de valores per cápita nacionales, desestiman los hábitos de consumo propios del cantón.

Posteriormente, para conocer los canales por los cuales estos residuos son dispuestos se realizó un MFA. Se determinó que del total de residuos de teléfonos celulares generados durante el período 2012-2017 en el país, únicamente el 6.8% fue recolectado por el MAE y un 10% fue

reparado o donado a un tercero. La mayoría de residuos, alrededor del 83%, se almacenó en los hogares debido principalmente a que los usuarios perciben valor en ellos y que, además, al ser dispositivos pequeños y no perecibles, pueden ser fácilmente acumulados.

Al conocer la cantidad de residuos de teléfonos celulares que son recolectados formalmente en el Ecuador se analizaron, mediante un ACV, 3 posibles escenarios de reciclaje. Se determinó que en el escenario 2 se evita la mayor cantidad de impacto ambiental y permite también recuperar el mayor valor económico. Esto se debe en su mayoría a que, mediante el desensamble manual de los residuos de teléfonos celulares, se pueden separar los materiales de interés con una eficiencia del 100% antes de enviarlos a empresas refinadoras de metales y recicladoras de plásticos. Por otro lado, la menor cantidad de impacto evitado corresponde al escenario 1, pues durante la trituración y el tratamiento mecánico de los residuos se producen pérdidas muy altas, principalmente de metales preciosos. Finalmente, aunque el impacto evitado en el escenario 3 es similar al escenario 2, se debe tener en cuenta que la cantidad de elementos que no son recuperados, pero ingresan en la etapa de procesamiento final es mucho mayor y, por lo tanto, lo es también el impacto generado. Resultados similares han sido reportados en estudios como el de Plessers (2013) y Wang et al (2012), en donde se ha demostrado que la “filosofía de lo mejor de los dos mundos”, establecida por Wang et al (2012) resulta ser la mejor alternativa para el tratamiento sostenible de RAEE en economías emergentes.

Como último paso, en este estudio se realizó una revisión bibliográfica de modelos de predicción en realidades norteamericanas y europeas obteniéndose una matriz descriptiva con algunos de los modelos más empleados a nivel mundial. Adicionalmente, con el objetivo de analizar realidades más cercanas al contexto nacional, se revisaron casos de estudio de modelos de predicción de RAEE en Latinoamérica y de acuerdo a los parámetros de entrada se replicaron algunos de ellos para la realidad ecuatoriana. Al comparar los modelos de predicción replicados, se obtuvieron como resultados que la curva de generación de residuos de teléfonos celulares del modelo México, presenta un comportamiento fluctuante que se encuentra directamente relacionado con las importaciones anuales del país. Este comportamiento es igual al de la curva de generación del modelo Perú, la cual sin embargo al emplear el tiempo de vida promedio de los dispositivos se presenta con un retraso de 3 años. Los resultados presentados por estos modelos no reflejan la realidad de la generación de residuos de teléfonos celulares, pues al

asumir que la totalidad de las importaciones son descartadas en un año puntual, se sobreestima la generación de residuos.

Pese a que el principio lógico del modelo Brasil y México es diferente, el comportamiento de sus curvas de generación de residuos de teléfonos celulares es semejante. Esto se debe al empleo de las importaciones anuales como el valor de ventas. El modelo Brasil es un referente académico para la estimación de la generación de RAEE, asume que la totalidad de ventas va destinada a usuarios nuevos y usuarios que reemplazan sus teléfonos celulares, siendo estos últimos los generadores de residuos. Además, al tratarse de un producto de mercado insaturado desaprecia la vida útil promedio. Sin embargo, al estar directamente relacionado a las ventas de un año puntual, no necesariamente refleja los hábitos de descarte de la población. Por otro lado, el comportamiento de la curva de generación de residuos de teléfonos celulares para el modelo propuesto, no presenta fluctuaciones pronunciadas como las observadas en los modelos antes mencionados en esta comparativa. Esto se debe a que las importaciones anuales (asumidas como el total de ventas anuales) se distribuyen a lo largo de un intervalo de tiempo, de acuerdo a la vida útil promedio del dispositivo. De esta manera se considera que la cantidad de residuos generada en un año puntual se ven influenciada por el aporte de residuos provenientes de años anteriores.

Debido a las asunciones realizadas para el cálculo de la estimación de la generación de residuos de teléfonos celulares sobre los valores de vida útil promedio y desviación estándar, como complemento a este estudio se realizó un análisis de sensibilidad. Para ello se propuso un escenario superior e inferior, considerando una vida útil promedio de los dispositivos de 4 y 2 años con una desviación estándar de 1.59 y 0.91 respectivamente. Los resultados obtenidos mostraron que en escenario inferior la generación promedio anual de residuos de teléfonos celulares es 2.16% menor con respecto al escenario base, mientras que el escenario superior resulta ser 0.7% mayor. Además, se evidenció que el pico de mayor generación de la curva presenta un sesgo más pronunciado hacia a la derecha conforme los valores de vida útil promedio y su respectiva desviación estándar sean bajos, mientras que para valores altos la curva resulta sesgada hacia la izquierda.

## 5 Conclusiones

En el presente estudio se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Los elementos que se encuentran en mayor proporción en los residuos de teléfonos celulares son: Al (23%) y Si (71%) en la pantalla, C (68%) y Co (22%) en la batería y Cr (13%), Cu (20%) y Fe (48%) en el PCB.
- El impacto ambiental total aproximado de los elementos presentes en un teléfono celular es de 408 mPts, de los cuales al PCB corresponden más del 88%.
- El valor económico de los elementos presentes en un teléfono celular es de aproximadamente \$2.35, siendo los más valiosos el silicio (\$0.013) en la pantalla, el cobalto (\$0.50) en la batería, el oro (\$0.56), paladio (\$0.45) y plata (\$0.18) en la PCB.
- Los elementos más importantes en un teléfono celular son el Au y el Pd, pues presentan la mayor cantidad de valor económico e impacto ambiental.
- Anualmente, en el Ecuador se generan en promedio 2 180 470 unidades de residuos de teléfonos celulares, de las cuales alrededor de 78 709 unidades pertenecen al cantón Cuenca.
- De los residuos generados durante el período 2012-2017, únicamente el 7% han sido recolectados formalmente. Alrededor del 10% han sido reparados o donados a un tercero, mientras que el 83% han sido almacenados en los hogares.
- El escenario de reciclaje para residuos de teléfonos celulares que permite recuperar la mayor cantidad de materiales y, por lo tanto, evitar la mayor cantidad de impacto ambiental, supone realizar un pre-procesamiento manual en el Ecuador para aprovechar materiales como aluminio y plástico localmente, y exportar los PCBs a países donde existan refinerías de metales preciosos para su procesamiento final.
- El comportamiento de las curvas de generación de residuos de teléfonos celulares al comparar diferentes modelos de estimación, sugiere que los valores de ventas no se relacionan directamente con los hábitos de descarte de la población. Además, asumir que la totalidad de las importaciones se vuelven residuos en un año puntual, sobreestima su generación y los vuelve dependientes de sus fluctuaciones anuales. Finalmente, resulta apropiado distribuir los residuos a lo largo de un intervalo tiempo, considerando que la cantidad de residuos generada en un año puntual se ve influenciada por el aporte proveniente de años anteriores.

## 6 Recomendaciones

Este estudio permitió realizar una primera aproximación de la realidad de los RAEE en el Ecuador, facilitando la identificación de algunos retos que se deben afrontar para el desarrollo de un sistema de gestión eficiente. El primer paso supone mejorar las bases de datos oficiales del país, las cuales están proporcionadas principalmente por instituciones como el SENAEC y el INEC, en donde se deberían trabajar aspectos como:

- El detalle adecuado los productos que corresponden a las diferentes NANDINAS.
- La inclusión de preguntas dirigidas a la recopilación de datos sobre hábitos de consumo, uso, descarte y disposición de AEE en las encuestas realizadas para el levantamiento de información.

Esto, con el objetivo de reducir las inconsistencias existentes y mejorar la precisión de la información disponible sobre AEE en el país, buscando generar un sistema de información específico que esté regulado por una institución pública.

Otro aspecto importante a considerar es la creación de políticas públicas que fortalezcan el marco normativo existente para la gestión de RAEE, en donde se involucre a fabricantes, importadores, comerciantes y usuarios en el manejo adecuado de estos residuos y se propicie la institucionalización del sector informal como parte de la cadena de reciclaje.

En consistencia con la generación de RAEE y de acuerdo a las capacidades nacionales de manejo, es fundamental que se establezcan metas de recolección coherentes y que se impulse la creación de programas permanentes que contribuyan con su cumplimiento. Además, se deben realizar campañas de sensibilización dirigidas a la sociedad en general que favorezcan el desarrollo de una cultura de reciclaje de RAEE.

Se debe también promover la participación de la academia en el desarrollo continuo de estudios y proyectos relacionados con los RAEE, que proporcionen información concluyente sobre su realidad en el país y contribuyan con el establecimiento de una línea base que justifique la toma de decisiones.

Para futuras investigaciones se recomienda realizar el análisis de laboratorio de una muestra representativa de modelos de teléfonos celulares, para evitar el sesgo en la composición que supone trabajar con un modelo específico. Además, se debe tener en cuenta que en este estudio se utilizó una distribución normal para la estimación de la generación de residuos de teléfonos

celulares, por lo que se recomienda utilizar una distribución Weibull pues esta supone una mayor exactitud en los resultados. Por otro lado, se aplicaron diferentes metodologías como el ACV, MFA y la revisión de los modelos de predicción, las cuales mejorarían su nivel de detalle y precisión al trabajarse de manera individual en estudios posteriores.

### Referencias

- 911METALLURGY CORP. (2013). Mining & iPhone Recycling. Retrieved July 5, 2018, from <https://www.911metallurgist.com/mining-iphones/>
- 911METALLURGY CORP. (2017). Scope of Work & Procedure. Retrieved from <https://www.911metallurgist.com>
- Ahmed, S., Makkar, R., & Sharma, A. (2014). Forecasting e-waste amounts in India. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 2(6). Retrieved from [www.ijergs.org](http://www.ijergs.org)
- Alavi, N., Shirmardi, M., Babaei, A., Takdastan, A., & Bagheri, N. (2015). Waste electrical and electronic equipment (WEEE) estimation: A case study of Ahvaz City, Iran. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 65(3), 298–305. <https://doi.org/10.1080/10962247.2014.976297>
- Allesch, A., & Brunner, P. H. (2017). Material Flow Analysis as a Tool to improve Waste Management Systems: The Case of Austria. *Environmental Science & Technology*, 51(1), 540–551. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04204>
- Apple. (2014). iPhone 6 Environmental Report. Retrieved from [www.apple.com/recycling](http://www.apple.com/recycling)
- Araújo, M. G., Magrini, A., Mahler, C. F., & Bilitewski, B. (2012). A model for estimation of potential generation of waste electrical and electronic equipment in Brazil. *Waste Management*, 32(2), 335–342. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.020>
- ARCOTEL. (2017). ARCOTEL: 15'055.240 líneas de telefonía celular existen en el Ecuador. Retrieved December 8, 2018, from <http://www.arcotel.gob.ec/arcotel-15055-240-lineas-de-telefonía-celular-existen-en-el-ecuador/>
- Arduin, R., Charbuillet, C., Berthoud, F., & Perry, N. (2017). Science Arts & Métiers (SAM) LIFE CYCLE ASSESSMENT OF END-OF-LIFE SCENARIOS: TABLET CASE STUDY. Retrieved from <http://sam.ensam.eu>
- Arora, R., Paterok, K., Banerjee, A., & Saluja, M. S. (2017). Potential and relevance of urban mining in the context of sustainable cities. *IIMB Management Review*, 29(3), 210–224. <https://doi.org/10.1016/J.IIMB.2017.06.001>

- Avadí, A., Bolaños, C., Sandoval, I., & Ycaza, C. (2015). Life cycle assessment of Ecuadorian processed tuna. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(10), 1415–1428. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0943-2>
- Babayemi, J. O., Osibanjo, O., & Weber, R. (2016). Material and substance flow analysis of mobile phones in Nigeria: a step for progressing e-waste management strategy. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, pp, 1–12. Retrieved from [https://files.ifi.uzh.ch/hilty/t/Literature\\_by\\_RQs/RQ144/2016\\_Babayemi\\_Osibanjo\\_Weber\\_Material\\_and\\_substance\\_flow\\_analysis\\_of\\_mobile\\_phones\\_in\\_Nigeria.pdf](https://files.ifi.uzh.ch/hilty/t/Literature_by_RQs/RQ144/2016_Babayemi_Osibanjo_Weber_Material_and_substance_flow_analysis_of_mobile_phones_in_Nigeria.pdf)
- Baldé, C. P., Forti, V., Gray, V., Kuehr, R., & Stegmann, P. (2017). Quantities, Flows, and Resources: The Global E-waste Monitor 2017. *United Nations University*. Retrieved from [https://collections.unu.edu/eserv/UNU:6341/Global-E-waste\\_Monitor\\_2017\\_\\_electronic\\_single\\_pages\\_.pdf](https://collections.unu.edu/eserv/UNU:6341/Global-E-waste_Monitor_2017__electronic_single_pages_.pdf)
- Banco Central del Ecuador. (2017). REPORTE DE MINERÍA. Retrieved from <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/ReporteMinero012017.pdf>
- Bigum, M. (2014). Life cycle assessment of the management of special waste types: WEEE and batteries. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4975.8969>
- Cecchin, A. (2017). Material flow analysis for a sustainable resource management in island ecosystems. *Journal of Environmental Planning and Management*, 60(9), 1640–1659. <https://doi.org/10.1080/09640568.2016.1246997>
- Chancerel, P., Meskers, C. E. M., Hagelueken, C., & Rotter, V. S. (2009). Assessment of Precious Metal Flows During Preprocessing of Waste Electrical and Electronic Equipment. *Journal of Industrial Ecology*, 13(5), 791–810. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2009.00171.x>
- Chandrasekaran, S. R., Avasarala, S., Murali, D., Rajagopalan, N., & Sharma, B. K. (2018). Materials and Energy Recovery from E-Waste Plastics. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(4), 4594–4602. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b03282>
- Chatterjee, S. (2012). Sustainable Electronic Waste Management and Recycling Process. *American Journal of Environmental Engineering*, 2(1), 23–33. <https://doi.org/10.5923/j.ajee.20120201.05>
- Chen, Y., Chen, M., Li, Y., Wang, B., Chen, S., & Xu, Z. (2018). Impact of technological



- innovation and regulation development on e-waste toxicity: a case study of waste mobile phones OPEN. *SciEnTific REpoRTS* /, 8, 7100. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25400-0>
- Choi, S. K., & Lee, J. I. (2001). Effect of film density on electrical properties of indium tin oxide films deposited by dc magnetron reactive sputtering. *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films*, 19(5), 2043–2047. <https://doi.org/10.1116/1.1371326>
- CIM. (2008). Centro de investigación de Mercados. Retrieved July 10, 2018, from <http://www.ciminvestigacion.com/>
- Citlalli, B., Aragón, C., René, E., González, F., Rafael, J., & Elenes, F. (2015). Modelo para la predicción de la generación de residuos electrónicos. Retrieved from <http://www.reibci.org/publicados/2015/nov/1100106.pdf>
- CNOEMPhone. (2017). Housing Components. Retrieved July 10, 2018, from <http://cnoemphone.net/industry/mobile-phone-components/housing>
- Conesa, V. (1993). “GUIA METODOLOGICA PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL.” Retrieved from [http://centro.paot.mx/documentos/varios/guia\\_metodologica\\_impacto\\_ambiental.pdf](http://centro.paot.mx/documentos/varios/guia_metodologica_impacto_ambiental.pdf)
- Cruz, S. E., Ojeda, S., Bovea, M. D., Santillán, N., Favela, H., & Salinas, W. (2013). HÁBITOS Y PRÁCTICAS DE CONSUMO DE TELÉFONOS CELULARES EN MÉXICO Y ESPAÑA. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, (3). Retrieved from <http://www.redalyc.org/html/370/37029665004/>
- Cui, J., & Forssberg, E. (2003). Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review. *Journal of Hazardous Materials*, 99(3), 243–263. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(03\)00061-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(03)00061-X)
- Davis, J., Geyer, R., Ley, J., He, J., Clift, R., Kwan, A., ... Jackson, T. (2007). Time-dependent material flow analysis of iron and steel in the UK: Part 2. Scrap generation and recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 51(1), 118–140. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2006.08.007>
- Dee, N., Baker, J., Drobny, N., Duke, K., Whitman, I., & Fahringer, D. (1973). An environmental evaluation system for water resource planning. *Water Resources Research*, 9(3), 523–535. <https://doi.org/10.1029/WR009i003p00523>
- Delunay, N., & Montero, R. (2013). Estimación de la Generación de Residuos Electrónicos en

- el Ecuador. Retrieved July 10, 2018, from  
<http://www.reciclametal.com/index.php/noticias/investigacion/96-invest-citic>
- Deng, W. J., Giesy, J. P., So, C. S., & Zheng, H. L. (2017). End-of-life (EoL) mobile phone management in Hong Kong households. *Journal of Environmental Management*, 200, 22–28. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.056>
- Dervišević, I., Minić, D., Kamberović, Ž., Čosović, V., & Ristić, M. (2013). Characterization of PCBs from computers and mobile phones, and the proposal of newly developed materials for substitution of gold, lead and arsenic. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(6), 4278–4292. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1448-1>
- Desjardins, J. (2016). The Extraordinary Raw Materials in an iPhone 6s. Retrieved July 10, 2018, from <http://www.visualcapitalist.com/extraordinary-raw-materials-iphone-6s/>
- Dorella, G., & Mansur, M. B. (2007). A study of the separation of cobalt from spent Li-ion battery residues. *Journal of Power Sources*, 170(1), 210–215.  
<https://doi.org/10.1016/J.JPOWSOUR.2007.04.025>
- Duygan, M., & Meylan, G. (2015). Strategic management of WEEE in Switzerland—combining material flow analysis with structural analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 103, 98–109. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2015.06.005>
- Dwivedy, M., & Mittal, R. K. (2010). Estimation of future outflows of e-waste in India. *Waste Management*, 30(3), 483–491. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2009.09.024>
- E-waste Africa Programme. (2011). Africa WEEE UNEP-CHW-EWASTE-PUB-WeeAfricaReport.English (1).
- EMAC. (2014). Reciclaje. Retrieved December 8, 2018, from  
<http://www.emac.gob.ec/?q=content/reciclaje-0>
- Espinoza, O., Villar, L., Postigo, T., & Villaverde, H. (2008). *Diagnóstico del Manejo de los Residuos Electrónicos en el Perú Informe Final, 31 de Enero 2008 Equipo de investigación*. Retrieved from  
<http://www.residuoselectronicos.net/archivos/documentos/Diagnosticoperu.pdf>
- Fink, J., Daigger, G. T., Brown, H., Ross, C. L., Woo, M., Bai, X., & Graedel, T. E. (2011). *The Case for an Urban Genome Project: A Shortcut to Global Sustainability? Sustainable Urban Water and Resource Management Eco-logical Principles for Next-Generation Infrastructure Megaregions and Mobility Emerging Patterns of Urban Sustainability in Asia The Prospects for Urban Mining*. Retrieved from

- <http://www.nae.edu/TheBridge>.
- Gaidajis, G., Angelakoglou, K., & Aktsoğlu, D. (2010). E-waste: Environmental Problems and Current Management. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 3(1), 193–199. Retrieved from [www.jestr.org](http://www.jestr.org)
- Gotze, R., & Rotter, S. V. (2012). Challenges for the Recovery of Critical Metals from Waste Electronic Equipment - A Case Study of Indium in LCD Panels. *A Case Study of Indium in LCD Panels*. Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6360485>
- Hall, W. J., & Williams, P. T. (2007). Separation and recovery of materials from scrap printed circuit boards. *Resources, Conservation and Recycling*, 51(3), 691–709. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2006.11.010>
- Herat, S., & Agamuthu, P. (2012). E-waste: a problem or an opportunity? Review of issues, challenges and solutions in Asian countries. *Waste Management & Research*, 30(11), 1113–1129. <https://doi.org/10.1177/0734242X12453378>
- Hong, J., Shi, W., Wang, Y., Chen, W., & Li, X. (2015). Life cycle assessment of electronic waste treatment. *Waste Management*, 38, 357–365. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.12.022>
- Huisman, J., Magalini, F., Kuehr, R., & Maurer, C. (2007). *Final Report Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)*. Retrieved from [http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/pdf/final\\_rep\\_unu.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/pdf/final_rep_unu.pdf)
- Ikhlayel, M. (2018). An integrated approach to establish e-waste management systems for developing countries. *Journal of Cleaner Production*, 170, 119–130. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.09.137>
- INEC. (2018). *Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC'S) de la Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo para el período 2011-2017*.
- InfoMine. (2018). Mining Intelligence and Technology. Retrieved July 5, 2018, from <http://www.infomine.com/>
- International Minerals. (2009). International Minerals Reports Updated Costs at Rio Blanco Gold-Silver Project, Ecuador. Retrieved from [http://www.kitco.com/pr/2245/article\\_02192009113206.pdf](http://www.kitco.com/pr/2245/article_02192009113206.pdf)
- International Precious Metals Institute. (2002). ENVIRONMENTALLY SOUND MANAGEMENT USED MOBILE TELEPHONES, (1), 1–15.

- Jeong, jinki, Lee, J., & Choi, J. (2015). Characterization of Metal Composition in Spent Printed Circuit Boards of Mobile Phones. *Journal of the Korean Institute of Resources Recycling*, 24(3), 76–80. <https://doi.org/10.7844/kirr.2015.24.3.76>
- Jha, M. K., Kumari, A., Jha, A. K., Kumar, V., Hait, J., & Pandey, B. D. (2013). Recovery of lithium and cobalt from waste lithium ion batteries of mobile phone. *Waste Management*, 33(9), 1890–1897. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2013.05.008>
- Jie, X.-W., Wang, C., Li, D.-F., Yin, F., Chen, Y.-Q., & Yang, Y.-Q. (2011). Leaching of valuable metals from calcined... (PDF Download Available). Retrieved June 22, 2018, from [https://www.researchgate.net/publication/293269072\\_Leaching\\_of\\_valuable\\_metals\\_from\\_calcined\\_spent\\_lithium-ion\\_batteries](https://www.researchgate.net/publication/293269072_Leaching_of_valuable_metals_from_calcined_spent_lithium-ion_batteries)
- Johnson, M., Fitzpatrick, C., Wagner, M., & Huisman, J. (2018). Modelling the levels of historic waste electrical and electronic equipment in Ireland. *Resources, Conservation and Recycling*, 131, 1–16. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2017.11.029>
- Kumar, L., Shyam, N., Batra, A., & Saxena, H. (2017). LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) OF MOBILE PHONES. Retrieved from <http://www.journalcra.com/sites/default/files/23880.pdf>
- Kumar, P., & Shrihari, S. (2007). *Estimation and Material Flow Analysis of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)-A Case Study of Mangalore City, Karnataka, India*. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.551.8067&rep=rep1&type=pdf>
- Lau, W. K.-Y., Chung, S.-S., & Zhang, C. (2013). A material flow analysis on current electrical and electronic waste disposal from Hong Kong households. *Waste Management*, 33(3), 714–721. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2012.09.007>
- Leopold, L. B., Clarke, F. E., Hanshaw, B. B., & Balsley, J. R. (1971). A Procedure for Evaluating Environmental Impact. Retrieved from [https://eps.berkeley.edu/people/lunaleopold/\(118\)AProcedureforEvaluatingEnvironmentalImpact.pdf](https://eps.berkeley.edu/people/lunaleopold/(118)AProcedureforEvaluatingEnvironmentalImpact.pdf)
- Lin, K.-L., Chang, W.-K., Chang, T.-C., Lee, C.-H., & Lin, C.-H. (2009). Recycling thin film transistor liquid crystal display (TFT-LCD) waste glass produced as glass–ceramics. *Journal of Cleaner Production*, 17(16), 1499–1503.

- <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2009.05.012>
- Liu, X., Tanaka, M., & Matsui, Y. (2006). Generation amount prediction and material flow analysis of electronic waste: a case study in Beijing, China. *Waste Management & Research*, 24(5), 434–445. <https://doi.org/10.1177/0734242X06067449>
- Lu, B., Song, X., Yang, J., & Yang, D. (2017). Comparison on End-of-Life strategies of WEEE in China based on LCA. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 11(5), 7. <https://doi.org/10.1007/s11783-017-0994-7>
- MAE-PNGIDS. (2018). RESPUESTA SOBRE SOLICITUD DE INFORMACIÓN RESPECTO A CELULARES USADOS, (593 2), 1–2. <https://doi.org/10.1109/TMC.2003.1195151>
- MAE. (2012a). ACUERDO No. 190. Retrieved from <http://www.residuoselectronicos.net/wp-content/uploads/2013/01/Acuerdo-Ministerial-190-Política-Nacional-de-Post-Consumo-de-Equipos-Eléctricos-y-Electrónicos-1.pdf>
- MAE. (2012b). MAE impulsa política de reciclaje de celulares en Ecuador. Retrieved November 17, 2018, from <http://www.ambiente.gob.ec/mae-impulsa-politica-de-reciclaje-de-celulares-en-ecuador/>
- MAE. (2013). 89% de la meta anual de reciclaje de celulares se cumplió en siete meses | Ministerio del Ambiente. Retrieved November 17, 2018, from <http://www.ambiente.gob.ec/89-de-la-meta-anual-de-reciclaje-de-celulares-se-cumplio-en-siete-meses/>
- MAE. (2018). *Ficha Informativa de Proyecto K009 MAE*. Retrieved from <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/07/PNGIDS-JUNIO-2018.pdf>
- Maragos, K. G., Hahladakis, J. N., & Gidaracos, E. (2013). Qualitative and quantitative determination of heavy metals in waste cellular phones. *Waste Management*, 33(9), 1882–1889. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2013.05.016>
- Mark Gino, G. K., & Jr, F. (2017). Estimation of waste mobile phones in the Philippines using neural networks. Retrieved from [https://cest.gnest.org/sites/default/files/presentation\\_file\\_list/cest2017\\_01056\\_oral\\_paper.pdf](https://cest.gnest.org/sites/default/files/presentation_file_list/cest2017_01056_oral_paper.pdf)
- Matthews, H. S., Hendrickson, C., Mcmichael, F. C., & Hart, D. J. (1997). Disposition and End-of-Life Options for Personal Computers. Retrieved December 9, 2018, from

- [https://www.researchgate.net/publication/239514396\\_Disposition\\_and\\_End-of-Life\\_Options\\_for\\_Personal\\_Computers](https://www.researchgate.net/publication/239514396_Disposition_and_End-of-Life_Options_for_Personal_Computers)
- Melo, M. T. (1999). Statistical analysis of metal scrap generation: the case of aluminium in Germany. *Resources, Conservation and Recycling*, 26(2), 91–113.  
[https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(98\)00077-9](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(98)00077-9)
- Merchant, B. (2017). *The one device: the secret history of the iPhone*. Retrieved from [https://books.google.co.uk/books?hl=en&lr=&id=WVkJDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=congo+cobalt+mines+iphone&ots=To9kc-KZDh&sig=V4qL9\\_VWmMqC4p-rRs2ZjlvkZZ0#v=onepage&q=congo&f=false](https://books.google.co.uk/books?hl=en&lr=&id=WVkJDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=congo+cobalt+mines+iphone&ots=To9kc-KZDh&sig=V4qL9_VWmMqC4p-rRs2ZjlvkZZ0#v=onepage&q=congo&f=false)
- Metalbulletin. (2018). Silicon News, Prices & Expert Analysis. Retrieved January 5, 2019, from <https://www.metalbulletin.com/non-ferrous/minor-metals/silicon.html>
- Mmereki, D., Li, B., Baldwin, A., & Hong, L. (2016). The Generation, Composition, Collection, Treatment and Disposal System, and Impact of E-Waste. In *E-Waste in Transition - From Pollution to Resource*. InTech. <https://doi.org/10.5772/61332>
- Moraes, D. da G. e S. V. M. de, Rocha, T. B., & Ewald, M. R. (2014). Life cycle assessment of cell phones in Brazil based on two reverse logistics scenarios. *Production*, 24(4), 735–741. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132014005000011>
- Mueller, D. B., Cao, J., Kongar, E., Altonji, M., Weiner, P.-H., & Graedel, T. E. (2007). *Geological Survey, Minerals Resources External Research Program Award Number*. Retrieved from <https://minerals.usgs.gov/mrerp/reports/Mueller-06HQGR0174.pdf>
- Müller, A. (2013). The chemistry of the mobile phones Nokia Nuron, Nokia 5130 and Sony Ericsson W595. Retrieved from [http://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2013/2013\\_026.pdf](http://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2013/2013_026.pdf)
- Nnorom, I. C., & Osibanjo, O. (2008). Electronic waste (e-waste): Material flows and management practices in Nigeria. *Waste Management*, 28(8), 1472–1479.  
<https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2007.06.012>
- Northern Graphite. (2018). Graphite Pricing. Retrieved July 5, 2018, from <http://northerngraphite.com/graphite-pricing/>
- Nyce, C. (2007). Predictive Analytics White Paper. Retrieved from <https://www.the-digital-insurer.com/wp-content/uploads/2013/12/78-Predictive-Modeling-White-Paper.pdf>
- Ott, D. (2008). *Gestión de Residuos Electrónicos en Colombia*. Retrieved from [http://www.residuoselectronicos.net/archivos/documentos/080331\\_EMPA-](http://www.residuoselectronicos.net/archivos/documentos/080331_EMPA-)



- CNPMLTA\_Diagnostico e-waste Colombia.pdf
- Paiva, V., & Perelman, M. (2008). RECOLECCIÓN Y RECUPERACIÓN INFORMAL DE RESIDUOS. LA PERSPECTIVA DE LA TEORÍA AMBIENTAL Y DE LAS POLÍTICAS PÚBLICAS, 7(7), 35–54. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=369236768002>
- Palmieri, R., Bonifazi, G., & Serranti, S. (2014). Recycling-oriented characterization of plastic frames and printed circuit boards from mobile phones by electronic and chemical imaging. *Waste Management*, 34(11), 2120–2130. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2014.06.003>
- Parlamento Europeo. (2003). EUR-Lex - 32012L0019 - EN - EUR-Lex. Retrieved May 16, 2018, from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:32012L0019>
- Parlamento Europeo. (2012). DIRECTIVA 2012/19/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, 38–71. Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:197:0038:0071:ES:PDF>
- Parlamento Europeo. (2018). Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) directive. Retrieved November 29, 2018, from <https://www.conformance.co.uk/adirectives/doku.php?id=wEEE>
- Peeters, J. R., Altamirano, D., Dewulf, W., & Duflou, J. R. (2017). Forecasting the composition of emerging waste streams with sensitivity analysis: A case study for photovoltaic (PV) panels in Flanders. *Resources, Conservation and Recycling*, 120, 14–26. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2017.01.001>
- Pérez-Belis, V., Bovea, M., & Ibáñez-Forés, V. (2015). An in-depth literature review of the waste electrical and electronic equipment context: Trends and evolution. *Waste Management & Research*, 33(1), 3–29. <https://doi.org/10.1177/0734242X14557382>
- Plastics Insight. (2017). ABS Plastic Production, Price and Market Demand. Retrieved July 9, 2018, from <https://www.plasticsinsight.com/resin-intelligence/resin-prices/abs-plastic/#price>
- Plessers, F. (2013). Economic & environmental assessment and optimization of recycling scenarios for IT equipment in developing countries. Retrieved from [https://www.scriptiebank.be/sites/default/files/Masterpaper Plessers\\_Frank nonconfidential.pdf](https://www.scriptiebank.be/sites/default/files/Masterpaper Plessers_Frank nonconfidential.pdf)
- Polák, M., & Drápalová, L. (2012). Estimation of end of life mobile phones generation: The

- case study of the Czech Republic. *Waste Management*, 32(8), 1583–1591.  
<https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2012.03.028>
- Ramirez, A. D., Boero, A. J., & Melendres, A. M. (2015). Using life cycle assessment to compare the environmental performance of electricity generation technologies in Ecuador: fuel oil in internal combustion engines vs. fuel oil in steam power plants. In *WIT Transactions on Ecology and the Environment* (Vol. 195, pp. 417–425). WIT Press.  
<https://doi.org/10.2495/ESUS150351>
- Renn, D., Collins, A., Cotran, H., Glazer, S., Gorodniuk, A., Lavigne-Delville, J., ... Tylenda, E. (2015). INDUSTRY LEAD. Retrieved from [http://library.sasb.org/wp-content/uploads/Resource\\_Trans/RT0202\\_EEE\\_Brief.pdf](http://library.sasb.org/wp-content/uploads/Resource_Trans/RT0202_EEE_Brief.pdf)
- RESINEX. (2018). PC/ABS | Tipos de polímeros. Retrieved July 10, 2018, from <http://www.resinex.es/tipos-de-polimeros/pc-abs.html>
- Ríos, J. F. (2016). Gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en el municipio de Armenia, Quindío. <https://doi.org/10.18041/libemp.2017.v14n1.27104>
- Rodrigues, A. C. (2006). EL CRECIMIENTO DE LOS RESÍDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS FUERA DE USO: EL IMPACTO AMBIENTAL QUE REPRESENTAN. Retrieved from <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/viewFile/14414/13751>
- Rodrigues, A. C., Gunther, W. M. R., Boscov, M. E. G., Rodrigues, A. C., Gunther, W. M. R., & Boscov, M. E. G. (2015). Estimativa da geração de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos de origem domiciliar: proposição de método e aplicação ao município de São Paulo, São Paulo, Brasil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 20(3), 437–447.  
<https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000133701>
- Román, D. G. J. (2007). *INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Informe Final*. Retrieved from [http://www2.inecc.gob.mx/descargas/sqre/res\\_electronicos\\_borrador\\_final.pdf](http://www2.inecc.gob.mx/descargas/sqre/res_electronicos_borrador_final.pdf)
- Savvilotidou, V., Hahladakis, J. N., & Gidarakos, E. (2014). Determination of toxic metals in discarded Liquid Crystal Displays (LCDs). *Resources, Conservation and Recycling*, 92, 108–115. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2014.09.002>
- Schluep, M., Hagelueken, C., Kuehr, R., Magalini, F., Maurer, C., Meskers, C., ... Wang, F. (2009). *Recycling - From e-waste to resources*. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/278849195\\_Recycling\\_-\\_from\\_e-](https://www.researchgate.net/publication/278849195_Recycling_-_from_e-)



waste\_to\_resources

- Sharaai, A. H., Noor, Z. M., & Sulaiman, A. (2012). Life cycle impact assessment (LCIA) using the ecological scarcity (ecopoints) method: A potential impact analysis to potable water production. *AFRICAN JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY*, 11(6).  
<https://doi.org/10.5897/AJB11.428>
- Sivaramanan, S. (2013). *E-Waste Management, Disposal and Its Impacts on the Environment*. Retrieved from [www.environmentaljournal.org](http://www.environmentaljournal.org)
- Souza, R. G., Abbondanza, M. N. M., & Palanca, C. F. (2017). Household Weee Generation Estimate in Sao Jose Dos Campos, Brazil. *Proceedings Sardinia 2017, 16th International Waste Management and Landfill Symposium*, (October).
- Statista. (2014). Praseodymium oxide price globally 2009-2025. Retrieved July 5, 2018, from <https://www.statista.com/statistics/450148/global-reo-praseodymium-oxide-price-forecast/>
- Statista. (2018). Arsenic average price by type U.S. 2011-2016. Retrieved July 5, 2018, from <https://www.statista.com/statistics/797487/us-arsenic-average-price/>
- Steubing, B., Böni, H., Schluep, M., Silva, U., & Ludwig, C. (2010). Assessing computer waste generation in Chile using material flow analysis. *Waste Management*, 30(3), 473–482. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2009.09.007>
- Swiss Federal Office for the Environment. (1998). ORDINANCE ON THE RETURN, THE TAKE BACK AND THE DISPOSAL OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT (ORDEE). Retrieved from [http://raee.org.co/nuevo/wp-content/uploads/2014/06/VREG\\_engl.pdf](http://raee.org.co/nuevo/wp-content/uploads/2014/06/VREG_engl.pdf).
- Tabares, L. R., & Cardona, H. D. (2015). Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en Manizales: obsolescencia programada y percibida. Retrieved from [http://investigacion.bogota.unal.edu.co/fileadmin/recursos/direcciones/investigacion\\_bogota/documentos/enid/2015/memorias2015/ingenieria\\_tecnologias/residuos\\_de\\_aparatos\\_electricos\\_y\\_electronic.pdf](http://investigacion.bogota.unal.edu.co/fileadmin/recursos/direcciones/investigacion_bogota/documentos/enid/2015/memorias2015/ingenieria_tecnologias/residuos_de_aparatos_electricos_y_electronic.pdf)
- Takacova, Z., Havlik, T., Kukurugya, F., & Orac, D. (2015). Cobalt and lithium recovery from active mass of spent Li-ion batteries: Theoretical and experimental approach. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2016.03.007>
- Tchobanoglous, G., & Kreith, F. (2002). Handbook of Solid Waste Management. Retrieved from <https://www.accessengineeringlibrary.com/browse/handbook-of-solid-waste->

- management-second-edition/p2000a99c99701\_1001#p2000a99c99701\_1002
- Terazono, A., Murakami, S., Abe, N., Inanc, B., Moriguchi, Y., Sakai, S., ... Williams, E. (2006). Current status and research on E-waste issues in Asia. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 8(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s10163-005-0147-0>
- THE CIRCULARS. (2018). OUR GLOBAL E-WASTE CHALLENGE AND THE NEED FOR LEADERSHIP. Retrieved from [https://thecirculars.org/content/resources/4138A\\_Our\\_Global\\_E-Waste\\_Challenge.pdf](https://thecirculars.org/content/resources/4138A_Our_Global_E-Waste_Challenge.pdf)
- U.S. Geological Survey. (2018a). ANTIMONY. Retrieved from <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/antimony/mcs-2018-antim.pdf>
- U.S. Geological Survey. (2018b). BISMUTH. Retrieved from <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/bismuth/mcs-2018-bismu.pdf>
- U.S. Geological Survey. (2018c). BORON. Retrieved from <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/boron/mcs-2018-boron.pdf>
- U.S. Geological Survey. (2018d). INDIUM. Retrieved from <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/indium/mcs-2018-indiu.pdf>
- U.S. Geological Survey. (2018e). RARE EARTHS. Retrieved from [https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare\\_earths/mcs-2018-raree.pdf](https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earths/mcs-2018-raree.pdf)
- UNEP. (2007). E-WASTE Volume I: Inventory Assessment Manual, 1. Retrieved from [http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7857/EWasteManual\\_Vol1.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7857/EWasteManual_Vol1.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Vallejo, M. C. (2010). Biophysical structure of the Ecuadorian economy, foreign trade, and policy implications. *Ecological Economics*, 70(2), 159–169. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2010.03.006>
- van der Voet, E., Kleijn, R., Huele, R., Ishikawa, M., & Verkuijen, E. (2002). Predicting future emissions based on characteristics of stocks. *Ecological Economics*, 41(2), 223–234. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00028-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00028-9)
- Vanegas, P., Peeters, J. R., Plessers, F., Cattrysse, D., & Duflou, J. R. (2014). Synergizing Industrialized and Developing Countries to Improve Resource Recovery for e-waste: Case Study Belgium–Kenya. *Procedia CIRP*, 15, 283–288. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2014.06.089>
- Vertmonde. (2018). Gestión Integral de Residuos Eléctricos y Electrónicos. Retrieved November 17, 2018, from <https://vertmonde.com/index.html>

- Villaverde, H., Baudin, I., & Martínez, C. (2011). *Proyecto RAEE Perú Diagnóstico del Manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos en Arequipa*. Retrieved from [http://raee-peru.pe/pdf/120228\\_Diagnostico\\_RAEE\\_Arequipa\\_2011.pdf](http://raee-peru.pe/pdf/120228_Diagnostico_RAEE_Arequipa_2011.pdf)
- Wang, F., Huisman, J., Stevels, A., & Baldé, C. P. (2013). Enhancing e-waste estimates: Improving data quality by multivariate Input–Output Analysis. *Waste Management*, 33(11), 2397–2407. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2013.07.005>
- Wang, H.-Y. (2009). A study of the effects of LCD glass sand on the properties of concrete. *Waste Management*, 29(1), 335–341. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2008.03.005>
- Wang, Huisman, J., Meskers, C. E. M., Schluep, M., Stevels, A., & Hagelüken, C. (2012). The Best-of-2-Worlds philosophy: Developing local dismantling and global infrastructure network for sustainable e-waste treatment in emerging economies. *Waste Management*, 32(11), 2134–2146. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2012.03.029>
- Widmer, R., Oswald-Krapf, H., Sinha-Khetriwal, D., Schnellmann, M., & Böni, H. (2005). Global perspectives on e-waste. *Environmental Impact Assessment Review*, 25(5), 436–458. <https://doi.org/10.1016/J.EIAR.2005.04.001>
- Yedla, S. (2016). Development of a methodology for electronic waste estimation: A material flow analysis-based SYE-Waste Model. *Waste Management & Research*, 34(1), 81–86. <https://doi.org/10.1177/0734242X15610421>
- Zeng, X., Mathews, J. A., & Li, J. (2018). Urban Mining of E-Waste is Becoming More Cost-Effective Than Virgin Mining. *Environmental Science & Technology*, 52(8), 4835–4841. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b04909>

## Anexos

### Anexo 1

#### Revisión bibliográfica de la composición promedio de un teléfono celular

##### 1. Composición de un teléfono celular en base a diferentes estudios: Pantalla

Elemento (g)	(H.-Y. Wang, 2009)	(Lin, Chang, Chang, Lee, & Lin, 2009)	(Gotze & Rotter, 2012)	(Maragkos, Hahladakis, & Gidakos, 2013)	(Savvilitidou, Hahladakis, & Gidakos, 2014)	Rango
Al	-	-	-	-	1.56-6.04	1.56-6.04
Cr	5.56	11	-	18.2-103.8	116.67-446.29	5.56-446.29
Cu	9.14	11	-	-	7.6-38.41	7.6-38.41
In	102	-	195	-	-	102-195
Ni	4.69	-	-	43.4-277.74	97.19-166.65	4.69-277.74
Pb	0.167	5	-	8.28-33.96	*DL	0.167-33.96
Sn	14.2	-	21	-	132.51-635.23	14.2-635.23
Zn	17.8	77	-	53.32-191.85	136.49-175.98	17.8-191.85

\*DL bajo el límite de detección

##### 2. Composición de un teléfono celular en base a diferentes estudios: Batería

Elemento (g)	(Dorella & Mansur, 2007)	(Jie et al., 2011)	(Jha et al., 2013)	(Takacova, Havlik, Kukurugya, & Orac, 2015)	Rango
Al	8.02	9.78	4.3	0.72	0.72-9.78
C	-	18.86	-	-	0-18.86
Co	29.49	22.31	23.67	22.43	22.31-29.49
Cu	16.48	7.47	22.13	1.33	1.33-22.13
Li	3.14	2.94	2.87	3.65	2.87-3.65
Mg	-	0.16	-	-	0-0.16
Mn	-	-	-	1.49	0-1.48

Ni	0.02	0.11	0.26	1.54	0.02-1.54
----	------	------	------	------	-----------

### 3. Composición de un teléfono celular en base a diferentes estudios: PCB

Elemento (g)	(Hall & Williams, 2007)	(Chatterjee, 2012)	(Dervišević, Minić, Kamberović, Čosović, & Ristić, 2013)	(Jeong, Lee, & Choi, 2015)	Rango
Ag	1.22	0.1	0.51	0.2241	0.1-1.22
Al	3.32	5	3.04	1.09	1.09-5
Au/ppm	46	250	220	824	46-824
Ba	1.75	-	0.63	-	0.63-1.75
Bi/ppm	<5.6	-	-	-	<5.6
Ca	7.48	-	0.1	-	0.1-7.48
Cd/ppm	<5.6	-	-	-	<5.6
Co	0.01	-	0.14	-	0.01-0.14
Cr	0.19	-	1.35	0.07	0.07-1.35
Cu	65.63	16	40.92	39.7	16-65.63
Fe	2.04	5	13.41	-	2.04-13.41
Ga/ppm	394	-	-	-	0-394
Hg/ppm	19	-	-	-	0-19
In/ppm	<5.6	-	-	-	<5.6
k/ppm	583	-	-	-	0-583
Li/ppm	28	-	-	-	0-28
Mg	0.15	-	0.01	-	0.01-0.15
Mn	0.12	-	0.08	-	0.08-0.12
Mo/ppm	-	-	100	-	0-100
Na	0.209	-	-	-	0-0.209

Ni	2.03	1	6.23	1.61	1-6.23
Pb	0.39	2	11.62	1.21	0.39-11.62
Pd/ppm	<5.6	100	150	123	<5.6-150
Pt	-	-	3.00E-07	-	0-3.00E-07
Sb/ppm	52	-	-	269	52-269
Si/ppm	-	-	900	-	0-900
Sn	-	3	9.8	1.9	1.9-9.8
Sr	0.07	-	0.27	-	0.07-0.27
Ti	0.22	-	0.23	-	0.22-0.23
V/ppm	-	-	4	-	0-4
Y	-	-	2	-	0-2
Zn	0.1971	1	11.53	-	0.2-11.53
Zr/ppm	-	-	200	-	0-200

#### 4. Composición de un teléfono celular en base a diferentes estudios: Carcasa

En la elaboración de carcasas de los teléfonos celulares se utilizan diferentes materiales como aluminio, vidrio, cerámica y, más comúnmente, termoplásticos. Estos últimos contienen una amplia variedad de polímeros que suelen ser mezclados en distintas proporciones con el objetivo de maximizar su vida útil y reducir los costos de fabricación (CNOEMPhone, 2017). De acuerdo a la industria belga Resinex, proveedora de materias primas termoplásticas y caucho, la mezcla de PC-ABS es utilizada principalmente para piezas de automoción (guanteras, consolas y airbags) y electrónica (carcasas de teléfonos celulares, marcos de pantallas LCD y teclados), debido a su facilidad de procesamiento y coloración, alta rigidez y resistencia (RESINEX, 2018).

En un estudio realizado por Palmieri, Bonifazi, & Serranti, (2014) se analizó la composición de carcasas para 11 teléfonos inteligentes de diferentes marcas. Los resultados revelaron que los polímeros más utilizados son la mezcla PC-ABS (42%) y PC (30%), mientras que cerca del 17% no pudo ser clasificado por la falta de información.

## Anexo 2

Hoja de asistencia del “Taller con los recicladores, gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos”

MEJORANDO EL VALOR SOCIAL DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LATINOAMÉRICA

REGISTRO DE PARTICIPANTES

Nombre	Teléfono/Celular	Organización	Firma
Luis Quirozaca	0999575606	Centros de reciclaje San Alonso	<i>[Firma]</i>
Maria Villa	0991202769	Solidaridad del Sur (FL)	<i>[Firma]</i>
Maria Guaman	0991202769	"	<i>[Firma]</i>
José Domínguez	0994349392	Reciclador Independiente	<i>[Firma]</i>
Maria Criollo	—	El Chorro	<i>[Firma]</i>
Maria <del>Villa</del> Villa	0990309616	El Chorro	<i>[Firma]</i>
Maria Suquiza	0969822621	Yki Feria Libre (FL)	<i>[Firma]</i>
Julia Lima	0986994435	Feria Libre (FL)	<i>[Firma]</i>
Azuena Torres	0995766012	Feria Libre	<i>[Firma]</i>
Alberto Macas	0959184186	Cooperativa ARUC	<i>[Firma]</i>
Yanina Gamara	0992312840	ARUC	<i>[Firma]</i>
Maria Rivera	—	ARUC	<i>[Firma]</i>
Alia Velep	0995008572	U. Andina	<i>[Firma]</i>

MEJORANDO EL VALOR SOCIAL DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LATINOAMÉRICA

REGISTRO DE PARTICIPANTES

Nombre	Teléfono/Celular	Organización	Firma
Haniel Criollo Verdugo	2880113 /	Reciclador Independiente	<i>[Firma]</i>
SANDRA COBOS	0995435654	U. CATÓLICA	<i>[Firma]</i>
M. Eugenia Estrada	—	U. CUENCA	<i>[Firma]</i>
Katy Orillana	0993663373	FUND. ALUMNA	<i>[Firma]</i>
Yanina Buzo	2849652	"	<i>[Firma]</i>
MARIA TARGLIA	—	RECIKADORA I.	<i>[Firma]</i>
MABEL ALVARADO	0994349392	R. I.	<i>[Firma]</i>
MARIA INGA	—	FUND. A.	<i>[Firma]</i>
José Guasti	0998086379	Feria Libre	<i>[Firma]</i>
Bianca FERNÁNDEZ	0993669365	R. I.	<i>[Firma]</i>
LEIDY ROTIRO	0991550920	COMUNICACIÓN DE LA UNIVERSIDAD	<i>[Firma]</i>
MARC	32495630503		<i>[Firma]</i>
NIEVES CHAPA	0991903390	CENTRO HISTÓRICO	<i>[Firma]</i>
* JOSÉ LUIS	0969232556	U. CATÓLICA	<i>[Firma]</i>

\* YA REGISTRADO

## MEJORANDO EL VALOR SOCIAL DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LATINOAMÉRICA

## REGISTRO DE PARTICIPANTES

Nombre	Teléfono/Celular	Organización	Firma
PABLO JARAMILLO	0979111935	ARU	Pablo Jaramillo
JULIA RIVERA	0983317639	ARU	Julia Rivera
José Solano Peláez	0969232556	VCACUE	José Solano Peláez



### Anexo 3

Conversatorio con técnicos especializados de la EMAC, Julio de 2018.



Fotografía: Proyecto “Enhancing the Social Value of the Circular Economy in Latin America”



Fotografía: Proyecto “Enhancing the Social Value of the Circular Economy in Latin America”



## Anexo 4

Visita técnica al relleno sanitario de Pichacay, Julio de 2018.



Fotografía: Proyecto “Enhancing the Social Value of the Circular Economy in Latin America”



Fotografía: Proyecto “Enhancing the Social Value of the Circular Economy in Latin America”





Fotografía: Proyecto “Enhancing the Social Value of the Circular Economy in Latin America”



Fotografía: Proyecto “Enhancing the Social Value of the Circular Economy in Latin America”

## Anexo 5

### Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA), Capítulo IV sobre el manejo de los residuos peligrosos

#### CAPITULO IV EL MANEJO DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS

##### **Art. 20.- CLASIFICACION:**

Los residuos peligrosos según su fuente se clasifican en: domésticos, hospitalarios y de servicios.

##### **Art. 21.- RESIDUOS PELIGROSOS DOMESTICOS:**

Están conformados por pilas y baterías de uso doméstico, focos de mercurio, envases de pinturas, solventes, plaguicidas y otros químicos.

##### **Art. 22.- MANEJO:**

Para el manejo de los residuos peligrosos:

- a) Las Municipalidades promoverán su almacenamiento en los domicilios en forma separada del resto de residuos orgánicos y reciclables, de acuerdo a la norma INEN respectiva.
- b) Los municipios dispondrán de contenedores especiales para pilas, baterías y para envases de elementos peligrosos.
- c) Toda persona natural o jurídica que ingrese baterías (acumuladores de energía), para uso individual o comercialización, deberá cancelar a la Municipalidad respectiva, el costo de la gestión técnica de manejo.
- d) Toda persona natural o jurídica que ingrese pilas para comercialización deberá cancelar a la municipalidad respectiva, el costo de la gestión técnica de manejo.
- e) En el caso específico de las pilas utilizadas por turistas y población no residente de Galápagos, se incentivará a los usuarios el retorno de las mismas al lugar de origen.
- f) Los valores adicionales para el manejo técnico de envases de residuos peligrosos serán asumidos por los comerciantes, los cuales serán establecidos en la ordenanza municipal respectiva.

##### **Art. 23.- RESIDUOS HOSPITALARIOS:**

Están conformados por restos de curaciones y cirugías, instrumentos corto punzantes, medicinas caducadas y de laboratorios.

El manejo y disposición final de este tipo de residuos se realizarán de conformidad con lo dispuesto en el Código de la Salud y el reglamento de manejo de desechos hospitalarios expedido por el Ministerio de Salud. Los residuos peligrosos separados en la fuente serán retornados al continente o incinerados localmente por personal especializado de los establecimientos respectivos.

##### **Art. 24.- TRANSPORTE Y MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS:**

Para el transporte de residuos peligrosos, se aplicará lo dispuesto en el reglamento INEN y se sujetará a los acuerdos del Convenio de Basilea.