



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS-PLANEACIÓN

FORMULACIÓN DE UN MODELO DE NEGOCIO CIRCULAR PARA LA
VALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN INGENIERÍA

PRESENTA:

ING. DANIELA SOFÍA DE LA ROSA CARREÓN

TUTOR PRINCIPAL:

DR. BENITO SÁNCHEZ LARA
FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., OCTUBRE 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Acosta Flores José Jesús

Secretario: Dr. García Martínez Mariano Antonio

Vocal: Dr. Sánchez Lara Benito

1^{er}. Suplente: Dra. Castillo Camarena Nadia

2^do. Suplente: M. I. Reséndiz López Héctor Daniel

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Edificio Posgrado de Ingeniería,
Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, Ciudad de México.

TUTOR DE TESIS:

DR. BENITO SÁNCHEZ LARA

NOMBRE

FIRMA

Dedicatoria

A Dios, quien me fortaleció en los momentos de duda y me ilumino durante todo este trayecto.

A mi familia, el pilar fundamental de mi vida. Su amor y apoyo inquebrantable ha sido mi mayor bendición. A mi madre, mi padre y mi hermano, les dedico este trabajo con profundo agradecimiento y amor.

Y a mí misma, como recordatorio de que la perseverancia, la dedicación y el esfuerzo valen la pena. Este logro no solo es el resultado de mi trabajo duro, sino también de la influencia y el amor de quienes se encuentran a mi lado.

Agradecimientos

Quiero comenzar estas palabras de agradecimiento con un profundo sentimiento de gratitud. La culminación de esta tesis representa no solo el fruto de mi esfuerzo y dedicación, sino también es el resultado de un esfuerzo colectivo y el apoyo inquebrantable de muchas personas e instituciones. Este logro no habría sido posible sin la guía y el apoyo continuo de aquellos que me han acompañado en este viaje académico.

En primer lugar, quiero agradecer a mi alma mater, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), que ha sido mi hogar intelectual y me ha brindado recursos invaluable que me han ayudado en mi crecimiento académico y personal.

También quiero expresar mi más profundo agradecimiento al Dr. Benito Sánchez Lara, mi tutor, quien desde el inicio de este viaje me brindo la orientación necesaria para enmarcar mis ideas y objetivos de investigación. Siempre dispuesto a escuchar mis ideas y preocupaciones, permitiéndome abordar los desafíos que se presentaron con confianza.

Además, deseo agradecer a otros profesores que han sido parte fundamental de mi desarrollo académico y de este trabajo de tesis. Su compromiso por transmitir sus conocimientos y su dedicación han sido invaluable en mi trayecto, especialmente a la Dra. Nadia Castillo Camarena, al Mtro. Héctor Daniel Reséndiz López, al Dr. José Jesús Acosta Flores, al Dr. Mariano Antonio García Martínez y al Mtro. Arturo Fuentes Zenón por ser una guía en este viaje.

También quiero agradecer al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por el apoyo económico que recibí durante parte de mis estudios de posgrado.

Por último, pero no menos importante, quiero dedicar este espacio en mi tesis para expresar mi amor y agradecimiento a mi familia, quienes siempre me han apoyado.

A mis padres Irma Carreón y Everardo de la Rosa. Su apoyo incondicional, su amor y su confianza en mí, incluso cuando yo dudaba de mí misma, ha sido un faro de esperanza y fortaleza. Siempre me han motivado a perseguir mis sueños. Su trabajo duro, sus valores y su perseverancia, han sido una fuente constante de inspiración en mi vida. Este logro es el resultado de su amor y dedicación hacia mi educación. Les agradezco de todo corazón por ser los mejores padres que alguien podría desear.

A mi hermano Héctor, por su apoyo constante y amor fraternal. Siempre has estado ahí para escucharme, motivarme y recordarme que no estoy sola en este viaje. Tu confianza en mis capacidades me ha dado la fuerza para superar los obstáculos y seguir adelante en los momentos de dificultad. Tu paciencia, comprensión y apoyo incondicional durante las largas

horas de estudio y escritura son invaluable para mí. Agradezco de corazón todo lo que has hecho por mí y por este trabajo.

A mis leales amigos de cuatro patas, mis queridos perritos, quiero agradecer por su compañía y amor incondicional, las cuales han sido un faro de alegría en mi vida. Sus colitas moviéndose con alegría, sus lamiditas llenas de amor, sus saltos de emoción y sus miradas tiernas me recordaron constantemente la importancia de disfrutar el presente y los pequeños detalles de la vida. Aunque no puedan leer estas palabras, sé que entienden mi gratitud y el amor que les tengo.

En conclusión, quiero darles las gracias a todos ustedes por todo lo que han contribuido en la realización de este trabajo. Sus consejos, orientación y ánimo han sido esenciales en este viaje académico. Esta investigación no habría sido posible sin su generosidad y respaldo.

Este logro representa un hito importante en mi vida, y estoy emocionada de compartirlo con todos aquellos que han sido parte de este viaje. Espero que esta tesis contribuya de manera significativa al campo del conocimiento y a la comunidad en general.

Resumen

En la actualidad, los modelos de negocio se rigen bajo los principios de la economía lineal, en la que se extraen las materias primas, se fabrica el producto, se vende, consume y una vez que deja de funcionar o resulta obsoleto para el consumidor es desechado por este. Este tipo de modelos de negocio no es sostenible. La industria de los aparatos eléctricos y electrónicos es una de las principales industrias generadoras de residuos. Esta tesis aborda la problemática de la valorización de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), en donde los Modelos de negocio lineales carecen de prácticas circulares que ayuden a desacelerar la generación excesiva de estos. El objetivo principal de esta investigación es la formulación de un modelo de negocio circular dirigido a empresas valorizadoras de RAEE, con el propósito de que integren prácticas circulares para aprovechar en mayor medida el valor económico de los residuos y reducir las externalidades negativas. Para esto se plantean objetivos específicos, como la ubicación geográfica de las unidades económicas que se dedican a la reparación de celulares, el bosquejo de la red logística de estas empresas, sus prácticas circulares y el modelo de negocio con el que operan.

La tesis se divide en cuatro capítulos. El primer capítulo aporta información respecto a los antecedentes, la generación, la normatividad y los problemas de valorización de RAEE. El segundo capítulo describe el marco conceptual y metodológico que construyen la estrategia de investigación, enfocado en modelos de negocio, en su innovación, en economía circular, en las prácticas circulares y la planeación estratégica como marco para la evaluación interna y externa. En el tercer capítulo se presenta el análisis espacial de las unidades económicas y se hace un diseño de la red logística que existe actualmente. Además, se presenta el modelo de negocio con el que operan actualmente las unidades económicas y se hace la descripción de la propuesta de innovación del modelo de negocio. Por último, en el capítulo cuatro se presentan las conclusiones obtenidas producto de la investigación.

Tabla de contenido

Introducción.....	12
CAPÍTULO 1. La gestión de los RSU en México y la valorización de los RAEE en la Ciudad de México.....	14
1.1 Residuos sólidos urbanos en México y en la Ciudad de México.....	14
1.1.1 Definición y clasificación de los residuos sólidos urbanos.....	14
1.1.2 Generación.....	15
1.1.3 Composición de Residuos Sólidos Urbanos.....	16
1.1.4 Manejo de los residuos sólidos urbanos.....	17
1.1.5 Valorización.....	21
1.1.6 Normativas y leyes.....	23
1.1.6 Residuos de manejo especial.....	25
1.2 Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos.....	26
1.2.1 Generación.....	28
1.2.3 Gestión y Normativas.....	30
1.3 Valorización de los RAEE en CDMX.....	37
1.4 Problemas de la valorización de los RAEE.....	44
1.4.1 Ambientales.....	44
1.4.2 Sociales.....	44
1.4.3 Regulatorios.....	45
1.4.4 Económicos.....	45
1.5 Problema de investigación.....	46
1.6 Objetivos de la tesis.....	47
1.7 Justificación y Alcances.....	47
CAPÍTULO 2. Modelos de negocio circulares para RAEE.....	49
2.1 Modelo de negocio.....	49
2.2 Economía Circular.....	51
2.2.1 Marco de las 10 Rs.....	54
2.2.2 Cadena de suministro de ciclo cerrado.....	55
2.3 Empresas (UE) valorizadoras de RAEE, sus prácticas circulares y la conformación de redes logísticas.....	57
2.4 Modelos de negocio circulares.....	59

2.4.1 Lienzo Ecocanvas.....	60
2.5 Los modelos de negocio y la planeación estratégica.....	61
2.6 Modelos de negocio para RAEE	64
2.7 Proceso de innovación del modelo de negocios.	67
2.7.1 Triángulo de la innovación.....	68
2.8 Estrategia de investigación.....	74
2.8.1 Análisis documental.....	75
2.8.2 Teoría Fundamentada.....	75
2.8.3 Análisis de datos.....	76
2.8.4 Análisis espacial (SIG).....	78
2.8.5 Formulación del modelo de negocio con el que operan las empresas reparadoras de RAEE	79
2.8.6 Diseño del Modelo de Negocio	80
2.8.7 Validación	80
CAPITULO 3. Formulación de un modelo de negocio circular para empresas valorizadoras de RAEE.....	83
3.1 Análisis espacial.....	83
3.2 Modelo de negocio con el que operan las empresas reparadoras de RAEE	88
3.3 Proceso de Innovación del Modelo de Negocios.....	93
3.3.1 Diagnóstico	93
3.3.2 Ideación.....	95
3.4 Propuesta de Modelo de Negocio Circular	98
3.5 Validación.....	101
3.5.1 Herramienta de validación	101
3.5.2 Resultados del cuestionario de validación	102
Capítulo 4. Conclusiones	104
Anexos.....	108
Anexo A.	108
Anexo B.	109
Bibliografía.....	110

Lista de figuras

Figura 1. Clasificación de RSU	15
Figura 2. Generación calculada (t/día) de RSU.....	16
Figura 3. Composición general de RSU en México.....	17
Figura 4. Recolección y generación de RSU.....	18
Figura 5. Clasificación de RAEE, categorías y componentes.....	27
Figura 6. Elementos químicos que se pueden encontrar en los RAEE	28
Figura 7. Porcentaje de materiales que componen los RAEE, valorizables y no valorizables.	28
Figura 8. Porcentajes de las toneladas generadas de RAEE en México por AEE de origen.	29
Figura 9. Ciclo de vida de AEE Y generación de RAEE	30
Figura 10. Buenas prácticas para el manejo de RAEE	38
Figura 11. Materiales dentro de los RAEE	39
Figura 12. Usuarios de teléfono celular en el período de 2015 a 2021	46
Figura 13. CANVAS del Modelo de Negocio.....	49
Figura 14. Diagrama de economía circular.....	52
Figura 15. Estrategias de circularidad	54
Figura 16. La Cadena de Suministros de Ciclo Cerrado de los RAEE.....	56
Figura 17. EcoCanvas.....	61
Figura 18. Análisis PESTEL.....	63
Figura 19. Canvas del Modelo de Negocio de la Empresa 1	65
Figura 20. Canvas del Modelo de Negocio de la Empresa 2	66
Figura 21. Canvas del Modelo de Negocio de la Empresa 2	67
Figura 22. Arquetipos para la innovación	69
Figura 23. Triángulo de la innovación.....	70
Figura 24. Triángulo de la innovación del arquetipo Añadir	71
Figura 25. Triángulo de la innovación del arquetipo Aikido	71
Figura 26. Triángulo de la innovación del arquetipo Lealtad del cliente	72
Figura 27. Triángulo de la innovación del arquetipo Comercio electrónico	72
Figura 28. Triángulo de la innovación del arquetipo Vendiendo experiencia	72
Figura 29. Triángulo de la innovación del arquetipo Sin lujos	73
Figura 30. Triángulo de la innovación del arquetipo Apunta a los pobres	73
Figura 31. Triángulo de la innovación del arquetipo De basura a dinero	73
Figura 32. Estrategia de investigación.....	74

Figura 33. Criterios de validación.....	81
Figura 34. Riesgos del Modelo de Negocio.....	82
Figura 35. Unidades económicas eslabones de la CSCC de los AEE y RAEE.	83
Figura 36. Unidades económicas eslabones de la CSI en el país.....	84
Figura 37. Unidades económicas eslabones de la CSD de los AEE en la Ciudad de México.	85
Figura 38. Unidades económicas eslabones de la CSI de los AEE en la Ciudad de México.	85
Figura 39. Unidades económicas eslabones de la CSCC por alcaldías de la CDMX.....	86
Figura 40. Bosquejo de la red logística de la CSCC.	87
Figura 41. Tipo de AEE que trabajan las UE.....	88
Figura 42. Actividades que realizan los dueños y encargados de UE	89
Figura 43. OLA que realizan las UE	90
Figura 44. Proceso para reparar un celular	90
Figura 45. Empresas valorizadoras de RAEE	92
Figura 46. Diagnóstico MN actual.....	93
Figura 47. FODA del modelo de negocio	95
Figura 48. Dimensiones del MN con el arquetipo de basura a dinero	96
Figura 49. Dimensiones del MN con el arquetipo Comercio electrónico	97
Figura 50. Dimensiones del MN con el arquetipo Añadir	97
Figura 51. Propuesta de Modelo de Negocio Circular.....	100

Lista de Tablas

Tabla 1. Participación de recolectores	20
Tabla 2. Características de los Sitios de Disposición Final en México	21
Tabla 3. Programas para valorización de RAEE	40
Tabla 4. Componentes tóxicos.....	41
Tabla 5. Módulos del CANVAS	50
Tabla 6. Definición de estrategias circulares.....	55
Tabla 7. Fases de una Cadena de Suministros Inversa.....	56
Tabla 8. Proceso de innovación.....	68
Tabla 9. Segmentos del Triángulo de la Innovación	70
Tabla 10. Empresas cuya actividad económica está relacionada con los RAEE	77
Tabla 11. Descripción del MN	92
Tabla 12. Costos de reparación de pantallas.....	101

Introducción

Durante los últimos años, los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) han presentado un incremento exponencial. Tan solo en el año 2019 se generaron aproximadamente 53,6 millones de toneladas (Mt) de estos residuos (Forti et al., 2020) y se espera que para los próximos años esta cantidad incremente. En Latinoamérica, México es el segundo país que genera más RAEE, es decir su consumo se ve marcado por patrones lineales que solo están provocando el agotamiento de los materiales vírgenes que estos residuos contienen, un consumo excesivo de energía tanto para su producción como su uso y un futuro colapso ambiental.

Como se mencionó, los RAEE están compuesto por materiales que pueden ser aprovechados y que además si no son tratados adecuadamente pueden representar un problema social, ambiental y para la salud del entorno donde se encuentren. Regularmente estos residuos contienen un 44% de metales, 21% de plásticos, 29% de residuos no valorizables, 6% de residuos peligrosos y 0.003% de metales preciosos (SEMARNAT, 2017). Por todos los beneficios y la necesidad que se empieza a generar por valorizar estos residuos, muchos gobiernos, científicos y la industria han empezado a adoptar prácticas que permitan hacer la transición de una Economía Lineal a una Economía Circular.

Respecto a esta transición se deben de empezar a crear o innovar los modelos de negocio con los que actualmente operan las empresas para que puedan valorizar los RAEE y así aprovechar la mayor cantidad posible de los materiales con los que cuentan estos residuos. Países como China han impulsado la creación de modelos de negocio circulares, además han adoptado prácticas circulares y han generado políticas para dar cumplimiento a esta transición. Sin embargo, en México el concepto de economía circular, sus principios y prácticas son nuevos, por tal motivo los negocios que se dedican a la valorización de RAEE desconocen el concepto y no cuentan con las técnicas ni el equipo adecuado.

En esta tesis se aborda la problemática de la valorización de RAEE en particular de aquellas empresas dedicadas a la reparación de teléfonos celulares en la Ciudad de México. Existe una brecha entre lo que se hace y lo que se tiene que hacer para la creación de una cadena de suministro de ciclo cerrado.

La investigación se enfoca en formular un modelo de negocio circular para empresas que se dedican a la valorización de RAEE, con el propósito de lograr el máximo aprovechamiento de

estos residuos y el comienzo de una transición a la Economía Circular (EC) en este tipo de negocios. La importancia de esta investigación reside en que este modelo de negocio pueda ser replicado para cualquier tipo de RAEE, adoptando las prácticas que se proponen y sirviendo como pionero para la creación o la innovación de nuevos modelos de negocio.

El modelo de negocio propuesto presenta cambios en las prácticas que realizan actualmente estos negocios para contribuir en la creación de una red logística que abone al cierre de las cadenas de suministro. Estas modificaciones implementan prácticas como el reciclaje, la remanufactura, la renovación, la reparación y la reutilización. Además, contemplan el fortalecimiento de las Operaciones Logísticas de Adquisición (OLA) que se hacen actualmente y agrega nuevas. Todo esto facilita la interacción entre distintos actores de la cadena. En este sentido, el modelo de negocio resultante facilita la transición de una economía lineal a una circular y puede ser replicado en distintas entidades, ya que se contempla las necesidades y oportunidades que existen en el país.

CAPÍTULO 1. La gestión de los RSU en México y la valorización de los RAEE en la Ciudad de México

1.1 Residuos sólidos urbanos en México y en la Ciudad de México

1.1.1 Definición y clasificación de los residuos sólidos urbanos.

Existen distintas causas que han provocado el aumento en la generación de residuos, algunas son el crecimiento de la población, la urbanización y los malos hábitos de consumo. Los residuos se clasifican en: residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP).

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), establece en la fracción XXXIII del Artículo 5 que los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) son:

Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole. (p. 6)

Los residuos sólidos son de gran importancia por los impactos económicos, ambientales y de salud que presentan a nivel local y global. Son una gran fuente generadora de metano, un gas de efecto invernadero que produce sus efectos a corto plazo. Se pueden subclasificar en orgánicos e inorgánicos. Los primeros son todos aquellos residuos de origen natural que se descomponen y los inorgánicos, son aquellos que fueron elaborados con materiales que no se desintegran naturalmente o que pasa un período muy largo para que pueda suceder su proceso de desintegración; además gran parte de estos residuos se pueden reciclar. En la **Figura 1** se presenta una clasificación de residuos sólidos urbanos que, además, incluye aquellos residuos que por sus características deben de tener otro tipo de tratamiento para poderlos reciclar.

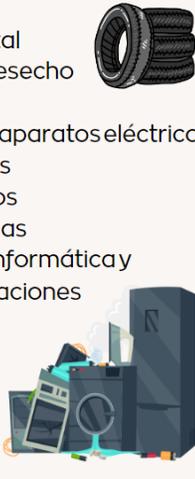
<p>Orgánicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cáscaras de fruta o verdura • Restos de comida • Cascarones de huevo • Pan, tortillas • Filtros para café • Bolsita de té • Heces de animales • Lácteos (sin recipiente) • Huesos • Semillas, flores, pasto, hojas 	<p>Inorgánicos Reciclables</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vidrio • Metales • Plástico • Papel y cartón • Ropa y textiles • Envases tetra-pack <p>Inorgánicos No Reciclables</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colillas de cigarro • Toallas sanitarias, curitas Calzado 	<p>Manejo especial y voluminosos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aceite vegetal • Llantas de desecho • Colchones • Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos • Muebles rotos • Baterías y pilas • Equipos de informática y telecomunicaciones 
---	---	---

Figura 1. Clasificación de RSU
Fuente. SEDEMA (2017)

1.1.2 Generación

La generación de residuos no es igual en todo el país ni en todo el mundo. Las tasas de generación de RSU están influenciadas por el desarrollo económico, el grado de industrialización, los hábitos públicos y el clima local (Hornweg & Bhada-Tata, 2012).

Datos de SEMARNAT (2017), indican que en México se generan diariamente 102,895.00 toneladas de residuos orgánicos e inorgánicos de origen domiciliario y no domiciliario; estos residuos no siempre son recolectados y tratados de forma idónea. Gran parte de ellos llegan a tiraderos clandestinos o a coladeras, generando problemas que atentan contra la calidad de vida de los habitantes. Además, México se encuentra situado entre los principales países generadores de metano derivado de rellenos sanitarios y está localizado dentro de los diez países más productores de residuos sólidos urbanos (RSU) a nivel mundial (Vera-Romero et al., 2015).

Existen diferentes indicadores que permiten evaluar y conocer características de la generación de RSU mediante datos recabados y cálculos. La generación per cápita es un indicador que estima la cantidad de residuos generados a diario por cada habitante perteneciente a una localidad, este indicador sirve, junto con otros datos, para calcular la generación de residuos a nivel nacional. En México el promedio de generación per cápita es de 0.944(kg/hab/día). La **Figura 2**, muestra los estados que generan mayor y menor cantidad de toneladas de RSU al día. Se puede observar que el Estado de México, la Ciudad

de México y el estado de Jalisco, se posicionan como los estados que generan más residuos, esto podría ser, debido a el tipo de actividad económica que tienen.

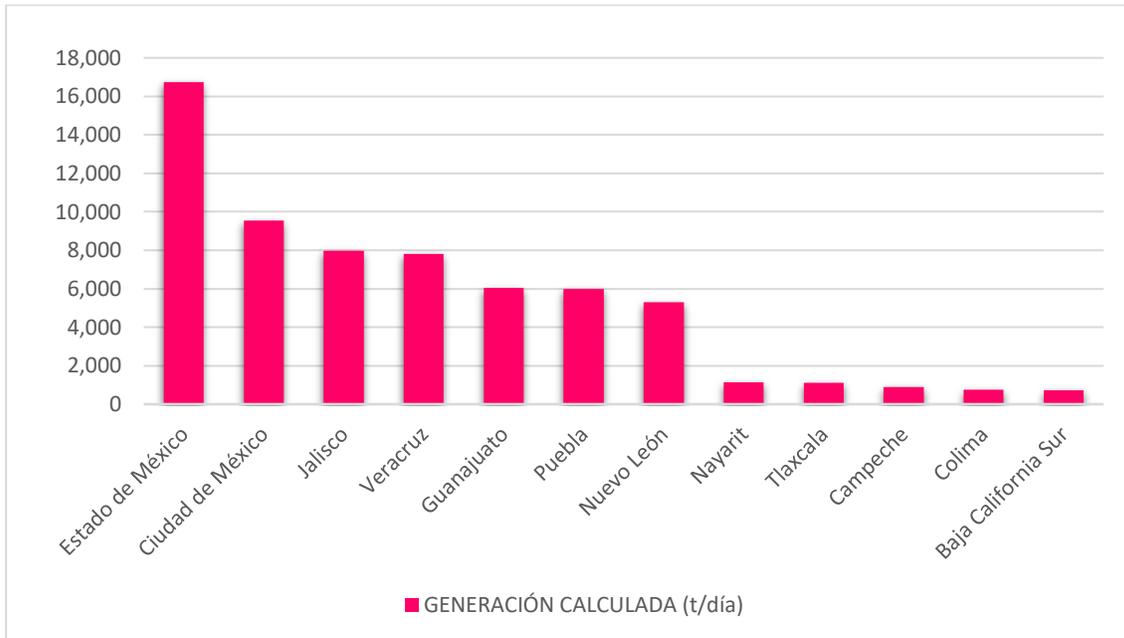


Figura 2. Generación calculada (t/día) de RSU

Fuente. SEMARNAT (2020)

1.1.3 Composición de Residuos Sólidos Urbanos

La composición de los RSU se realiza al tipificar de manera porcentual los materiales que se encuentran en estos desechos. Se determina generalmente mediante una auditoría estándar de desechos, en la que se toman muestras de basura de generadores o sitios de disposición final, se clasifican en categorías predefinidas y se pesan (Kaza et al., 2018). Los datos que se obtienen sirven para conocer la cantidad de residuos aprovechables que se generan y que pueden ser valorizados; además ayuda a determinar el tipo de sistemas e infraestructura que se necesitan para operar.

A nivel nacional e internacional se ha registrado que el tipo de residuo que más se genera es el orgánico. En la **Figura 3**, se muestra que, en el año 2017, en México se generaron alrededor de 46.41% de RSU de tipo orgánico, seguidos de desechos susceptibles para su aprovechamiento, como son: plástico, papel, cartón, metal y vidrio.

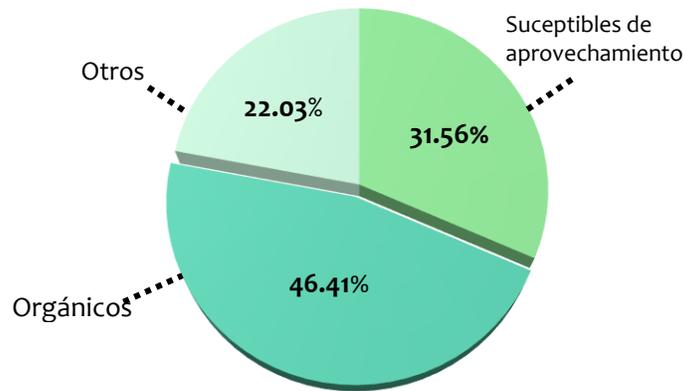


Figura 3. *Composición general de RSU en México*
Fuente. Elaboración propia con datos de SEMARNAT 2020

1.1.4 Manejo de los residuos sólidos urbanos.

Las principales zonas urbanas del país generan residuos que se contabilizan en cientos y miles de toneladas diarias. Estos enormes montos de RSU presentan un problema complejo para la cobertura de la recolección, para su aprovechamiento y sobre todo en la disposición final (Gran Castro & Bernache, (2016)).

La gestión integral son las operaciones que buscan dar a los residuos un destino diferente, incorporando elementos que van más allá de la recolección, como: acciones normativas, operativas, de financiamiento y de planificación basadas en las capacidades de cada municipio y en los requerimientos sociales, económicos, políticos y ambientales.

El Artículo 10 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), establece que:

Los municipios tienen a su cargo las funciones de manejo integral de residuos sólidos urbanos, que consisten en la recolección, traslado, tratamiento, y su disposición final (p.13).

El manejo de los RSU implica un proceso que inicia con la generación de los residuos, involucra su almacenamiento, transporte, tratamiento, y culmina con su disposición en algún sitio controlado. En muchos municipios mexicanos este proceso se reduce a la recolección y su disposición final (Jiménez Martínez, 2015).

Aún en las grandes ciudades, la gestión de RSU se ha visto sobrepasada, existen muchos factores que pueden contribuir a esta causa, principalmente se encuentra la parte financiera;

y es que la gestión y manejo de los residuos suele ser costosa, a menudo se necesita más presupuesto del otorgado. Además, la generación acelerada de estos residuos ha provocado que la infraestructura con la que se cuenta sea insuficiente debido a que fue planeada para menor población y diferentes circunstancias.

1.1.4.1 Recolección.

La recolección es vital para que la gestión integral de los residuos sólidos urbanos consiste en recolectar los residuos sólidos desde su punto de producción (domiciliar y no domiciliar) hasta el punto de tratamiento o eliminación.

La capacidad de recolección depende de diversos factores, entre ellos está el tipo de ingresos que tenga cada país y región. Por lo regular, los países que presentan ingresos altos poseen una mayor capacidad de recolección que los países que tienen bajos ingresos. En los países de la OCDE, la colecta de residuos promedia alrededor del 98% de la generación, mientras que en África esta cifra alcanza 46%. En el caso de Latinoamérica y el Caribe, la recolección se encuentra alrededor del 78% (SEMARNAT, 2018). La gráfica de la **Figura 4**, muestra el contraste de datos de generación y recolección de los estados que generan más y menos residuos sólidos urbanos. Casi en todos los estados, la cantidad que se recolecta no es igual a la que se genera, en gran parte esto se debe a la capacidad de recolección que se tiene; en México esa capacidad es de 83.87%.

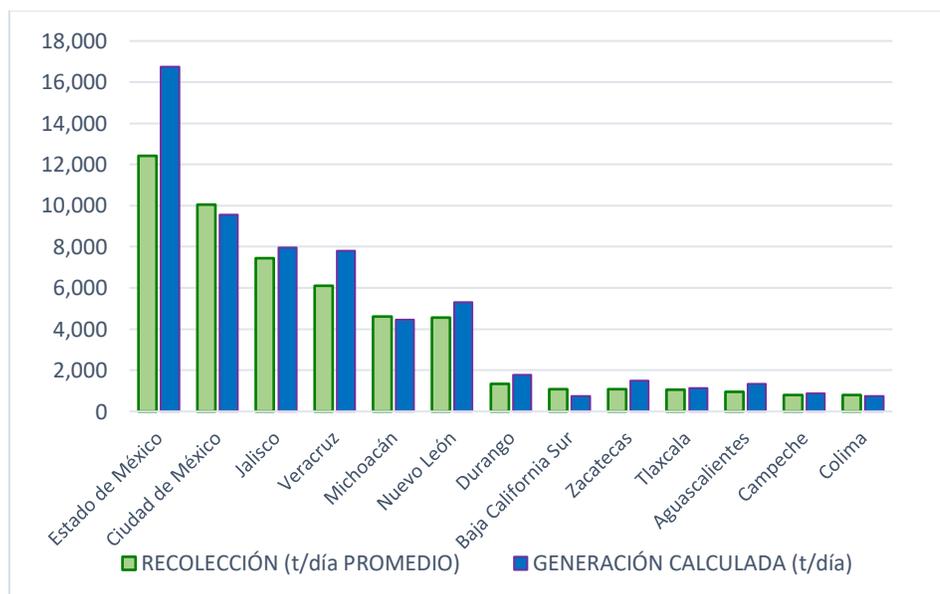


Figura 4. Recolección y generación de RSU
Fuente. SEMARNAT (2020)

1.1.4.2 Separación y transporte.

En mayo de 2019, la Ciudad de México presentó el Plan de Acción Basura Cero, hacia una Economía Circular, el cual tiene como principal objetivo implementar mecanismos orientados a reducir la cantidad de residuos que llegan a los rellenos sanitarios. Este plan se apoya en la norma NADF-024-2013, que entró en vigor en el año 2017 y en la cual se establecen los criterios y especificaciones técnicas bajo los cuales se deberá realizar la separación, clasificación, recolección selectiva y almacenamiento de los residuos de la Ciudad de México. Indica que los residuos deben de ser separados y clasificados desde la fuente que los genera. Cuando los residuos se separan previamente a su recolección es posible aumentar la cantidad y la calidad de los materiales reciclables; en contraste, los que se recuperan a partir de residuos no separados tienden por lo general a estar contaminados, lo que reduce su valor en el mercado y su posible reciclaje (SEMARNAT, 2018). Como ya se mencionó, para la separación de los residuos se consideran 4 categorías, que permitirán una mejor recolección y aprovechamiento de los residuos:

1. Orgánicos, son los residuos sólidos biodegradables como los huesos, los restos de verduras, hortalizas, frutas, jardinería (hojarasca y ramas), café y té.
2. Inorgánicos reciclables, es aquella materia prima que puede ser reutilizada o reciclada como el vidrio, metales, plásticos, papel, cartón, envases tetra-pack, ropa y textiles.
3. Inorgánicos no reciclables, son residuos que por sus características son difícil de reciclar como los curitas, el calzado, las toallas sanitarias, el uncel, las colillas de cigarro y las bolsas de frituras.
4. Manejo especial y voluminosos, son residuos electrónicos domésticos como computadores, celulares, colchones, muebles rotos, televisores, lavadoras y refrigeradores.

Los RSU se recogen de distintas formas, en México el sistema de recolección que más se utiliza es el de mano a mano. En este modelo, el generador le entrega los residuos al recolector, el cual los deposita en camiones para su traslado. En ciertas localidades, las comunidades pueden disponer de los residuos en un contenedor central o punto de recolección donde son recogidos por el municipio y transportados a sitios de disposición final (Kaza et al., 2018). Para lograr una mayor cobertura en el servicio de recolección. En la **Tabla 1**, se muestra el porcentaje de participación que tienen diferentes actores en la recolección de residuos sólidos urbanos en México, siendo las autoridades municipales las que tienen mayor porcentaje de participación.

Recolectores de RSU	Porcentaje
Prestadores de servicio del sector privado	9.82%
Sector social	3.06%
Autoridades municipales	87.12%

Tabla 1. Participación de recolectores

Fuente. SEMARNAT (2020)

El parque vehicular de recolección a nivel nacional está conformado por 16,615 vehículos, de los cuales el 59.30%, tienen sistemas de compactación. Del total de vehículos, el 29% son modelos anteriores a 1995 con al menos 24 años de operación (SEMARNAT, 2020). Esto representa un problema en la recolección ya que se cuentan con unidades con poca tecnología que representa un foco de contaminación.

La separación de los residuos sólidos recolectados y su transporte hacia las zonas de disposición final puede tener múltiples ventajas para su manejo.

1.1.4.3 Disposición final

Según la definición que da el Artículo 5 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR, 2003), la disposición final, es la:

Acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos. (p.4)

Datos de SEMARNAT (2020), indican que, en México ingresaron un promedio de 86,352.7 t/día de residuos en los 2,203 Sitios de Disposición Final (SDF) existentes, los cuales están ubicados en 1,722 municipios de la República, a excepción de la Ciudad de México, la cual no cuenta con este tipo de instalaciones.

Los SDF deben tener ciertas características que les permitan tratar los residuos que ingresen en ellos, ya que por su composición estos suelen ser peligrosos para la salud y el medio ambiente. En la **Tabla 2**, se observan las características en la infraestructura con las que cuenta estos sitios. El total de la tabla arroja un número mayor a los 2,203 SDF que ya se mencionaron, esto se debe a que algunos sitios cuentan con más de una de estas características.

Características de los SDF	Número de sitios
Cuentan con báscula para el pesaje de los residuos	190
Cuenta con infraestructura para la captación de lixiviados	359
Cuentan con infraestructura para la captura de biogás	213
Cuentan con geomembrana para aislar a los residuos del suelo.	326
Cuentan con cerca perimetral	955
No cuentan con infraestructura básica para la protección del ambiente	1,053
Se tiene control de acceso	753
Se tiene control de los residuos que ingresan	417

Tabla 2. Características de los Sitios de Disposición Final en México

Fuente. SEMARNAT (2020)

El depositar los residuos en algún sitio de disposición final, es una acción que solo se debe practicar cuando el ciclo de vida del residuo termine y no exista forma de que sea valorizado o tratado.

1.1.5 Valorización

La valorización es el principio y conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos, mediante su reincorporación en procesos productivos, bajo criterios de responsabilidad compartida, manejo integral y eficiencia ambiental, tecnológica y económica (SEMARNAT, 2017).

En México existen 47 plantas ubicadas en 17 entidades federativas, las cuales sirven para el tratamiento o aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos. Los estados que tienen más plantas para su aprovechamiento son la Ciudad de México (12), Estado de México (7), Jalisco (6) y Michoacán (4). Estas plantas cumplen con diferentes funciones como la separación, el composteo, la compactación, trituración, entre otras.

1.1.5.1 Reciclaje.

Los residuos sólidos urbanos poseen materiales que pueden ser aprovechados mediante el reciclaje. Las ventajas clave del reciclaje y la recuperación son cantidades reducidas de desechos eliminados y la devolución de materiales a la economía, es decir la reincorporación de estos productos a la cadena de suministro. En muchos países en desarrollo, los

recicladores informales en los puntos de recolección y los sitios de disposición recuperan una porción significativa de los desechos (Hoornweg et al., 2012).

En México no se tienen cifras oficiales sobre la cantidad de personas que se dedican a la recolección informal de los residuos, también conocidos como “pepenadores”, pero se estima que gran parte del reciclaje que se realiza es por ellos. Datos de SEMARNAT (2020), indican que la pepena es una actividad de reciclaje que se da en todas las etapas del manejo de residuos: principalmente en los contenedores o acumulaciones de residuos en la vía pública previo a su recolección, en las actividades de recolección durante el recorrido de los vehículos, así como en instalaciones habilitadas por las autoridades previo al envío de los residuos a disposición final, donde laboran familias enteras en esta actividad.

Las emisiones a la atmósfera de los rellenos sanitarios provienen principalmente de la degradación de la fracción orgánica contenida en los RSU, durante la cual se generan básicamente metano y dióxido de carbono. Otra forma de valorizar los residuos es al convertirlos en energía.

La conversión de residuos sólidos urbanos en energía, (WTE, por sus siglas en inglés) se logra a través diversas técnicas que permiten recuperar la energía en forma de calor, electricidad o combustibles alternos, como el biogás; facilitando la reducción del uso de combustibles fósiles.

- **Incineración.** La incineración de los residuos es una alternativa que se ha planteado para su valorización en todo el mundo, pero que presenta un mayor aprovechamiento en los países desarrollados. La incineración es uno de los procesos térmicos de bajo impacto ambiental, que reduce el volumen de residuos que se vierten en vertederos (Sunil et al., 2019).
- **Co-procesamiento.** Es el uso de materiales derivados de residuos para reemplazar recursos minerales naturales o combustibles fósiles tradicionales como carbón, combustóleo y gas natural. El co-procesamiento requiere flujo de residuos relativamente homogéneos con características definidas (SEMARNAT, 2020).
- **Digestión anaerobia.** La digestión anaerobia es un proceso biológico de múltiples etapas, en el que consorcios microbianos de diferentes especies de bacterias y arqueas, en ausencia de oxígeno, transforman los compuestos orgánicos complejos (carbohidratos, proteínas y lípidos) en productos más simples como metano (60-70

%), dióxido de carbono (30% - 40 %), y trazas de otros gases (Ossa, 2020). Dando como resultado biogás que sirve como fuente de energía.

- **Pirólisis.** Es la desgasificación de los RSU en condiciones controladas de oxígeno. En este proceso los RSU se convierten en gas o coque para ser usados en la generación de electricidad (SEMARNAT, 2020). Actualmente México no cuenta con una planta para realizar este tratamiento.

1.1.6 Normativas y leyes

Existe un marco regulatorio a nivel nacional y local que tiene el objetivo de establecer parámetros que ayuden a los municipios a tener un manejo adecuado de los residuos. En esta sección se presentan algunas de estas normativas a nivel Nacional.

- **Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos**

En su Artículo 4, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos menciona que, “toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho”. (p.10)

- **Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR).**

Tiene por objeto garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, 2016).

- **Reglamento de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal**

Tiene por objeto regular la gestión integral de los residuos sólidos considerados como no peligrosos, así como la prestación del servicio público de limpia.

- **Ley de Gestión Integral de los residuos del Estado de Jalisco**

Tiene por objeto establecer las Políticas públicas en materia de Gestión de Residuos en el Estado, así como establecer y proponer medidas que garanticen un medio ambiente adecuado, propiciando el desarrollo sustentable.

- **Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-20-SeMAGEM-RS-2019.**
 Tiene como objetivo normar la instalación y la operación de los Centros Integrales de Residuos en el Estado de México y la conversión de sitios de disposición final en Centros Integrales de Residuos. (Gobierno del Estado de México, 2019)
- **Proyecto de Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-022-SeMAGEM-RS-2021.**
 Establece las especificaciones para la prestación del servicio de barrido de residuos sólidos urbanos, para el Estado de México. (Gobierno del Estado de México, 2021)
- **NOM-083-SEMARNAT-2003.**
 Establece las especificaciones de selección del sitio, el diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. (SEMARNAT, 2003)
- **NOM-098-SEMARNAT-2002.**
 Establece las especificaciones de operación, así como los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera para las instalaciones de incineración de residuos. (SEMARNAT, 2004)
- **NMX-AA-016-1984.**
 Esta Norma Mexicana establece el método llamado de Estufa que determina el porcentaje de la humedad, contenido en los residuos sólidos municipales. Se basa en la pérdida de peso que sufre la muestra cuando se somete a las condiciones de tiempo y temperatura que se establecen en esta norma, considerando que dicha pérdida se origina por la eliminación de agua. (Gobierno de México, 1984)
- **NMX-AA-019-1985.**
 Esta Norma Mexicana, establece un método para determinar el peso volumétrico de los residuos sólidos municipales en el lugar donde se efectuó la operación de "cuarteo". (Gobierno de México, 1992)
- **NMX-AA-031-1976.**
 Establece el método para la determinación de azufre transformado en ácido sulfúrico durante la combustión de desechos sólidos en el interior de una bomba calorimétrica, para fin de corrección. (Gobierno de México, 1976)

- **NMX-AA-061-1985.**

Especifica un método para determinar la generación de residuos sólidos municipales a partir de un muestreo estadístico aleatorio. Para efectos de aplicación de esta Norma los residuos sólidos municipales se subdividen en domésticos (que son los generados en casas habitación) y en no domésticos (generados fuera de las casas habitación). (Gobierno de México, 1992)

- **NMX-AA-091-1987 Calidad del suelo terminología.**

Establece un marco de referencia en cuanto a los términos más empleados en el ámbito de la prevención y control de la contaminación del suelo, originada por residuos sólidos. (Gobierno de México, 1992)

- **NMX-AA-092-1984.**

Establece el método para la determinación de azufre transformándolo en sulfato de sodio mediante el tostado de los residuos sólidos en presencia de oxilita. (Gobierno de México, 1984)

1.1.6 Residuos de manejo especial

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), establece en la fracción XXX del Artículo 5 que los Residuos de Manejo Especial (RME) son:

“Aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos” (p.6).

La **NOM-161-SEMARNAT-2011** es una norma diseñada para establecer los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo de RME, los criterios que se tienen que tomar en cuenta para clasificarlos, así como un listado para identificarlos:

1. Residuos de servicios de salud, generados por un gran generador en una cantidad igual o mayor a 10 toneladas al año en centros médico-asistenciales
2. Los residuos agro plásticos generados por las actividades intensivas agrícolas, silvícolas y forestales.
3. Los residuos orgánicos de las actividades intensivas agrícolas, avícolas, ganaderas y pesqueras.
4. Los residuos de las actividades de transporte federal, que incluye servicios en los puertos, aeropuertos, centrales camioneras y estaciones de autotransporte y los del

transporte público, que incluye a los prestadores de servicio que cuenten con terminales, talleres o estaciones, que se incluyen en la lista siguiente y que se generen por un gran generador en una cantidad mayor a 10 toneladas al año por residuo o su equivalente.

5. Lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales.
6. Los residuos de las tiendas departamentales o centros comerciales, incluyendo tiendas de autoservicio, centrales de abasto, mercados públicos y ambulantes, que se incluyen en la lista siguiente y que se generen en una cantidad mayor a 10 toneladas al año por residuo o su equivalente.
7. Residuos de la construcción, mantenimiento y demolición en general, que se generen en una obra en una cantidad mayor a $80m^3$.
8. Los productos que al transcurrir su vida útil se desechan:
 - a) Residuos tecnológicos de las industrias de la informática y fabricantes de productos electrónicos.
 - b) Residuos de fabricantes de vehículos automotores.
 - c) Otros que al transcurrir su vida útil requieren de un manejo específico y que sean generados por un gran generador en una cantidad mayor a 10 toneladas por residuo al año.

1.2 Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos

Los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) son aquellos aparatos que para funcionar utilizan baterías, campos electromagnéticos o corriente eléctrica. Estos aparatos son usados diariamente en diferentes sectores económicos. Debido a que existe una gran variedad de ellos, se han clasificados según sus características. En la **Figura 5**, se muestra que en México se consideran 5 categorías: Equipos de regulación de temperatura, pantallas, equipos grandes, equipos pequeños y equipos de telecomunicaciones e informática. El desarrollo tecnológico ha permitido a los fabricantes de AEE crear con mayor rapidez nuevos dispositivos que replacen a los ya existentes; generando equipos eléctricos y electrónicos con una corta esperanza de vida. La expansión económica y tecnológica, así como el estilo de vida de una sociedad acelerada, han generado que cada vez exista una mayor dependencia a los AEE. Cuando el consumidor ve obsoleto, roto o irreparable un aparato eléctrico y electrónico lo desecha, generando lo que se conoce como residuo de aparato eléctrico y electrónico (RAEE), o desecho electrónico. Los RAEE, son residuos de manejo especial y voluminoso, debido al tamaño que algunos presentan y a los componentes que

tienen. Además, son considerados como el flujo de residuos con mayor crecimiento en todo el mundo.

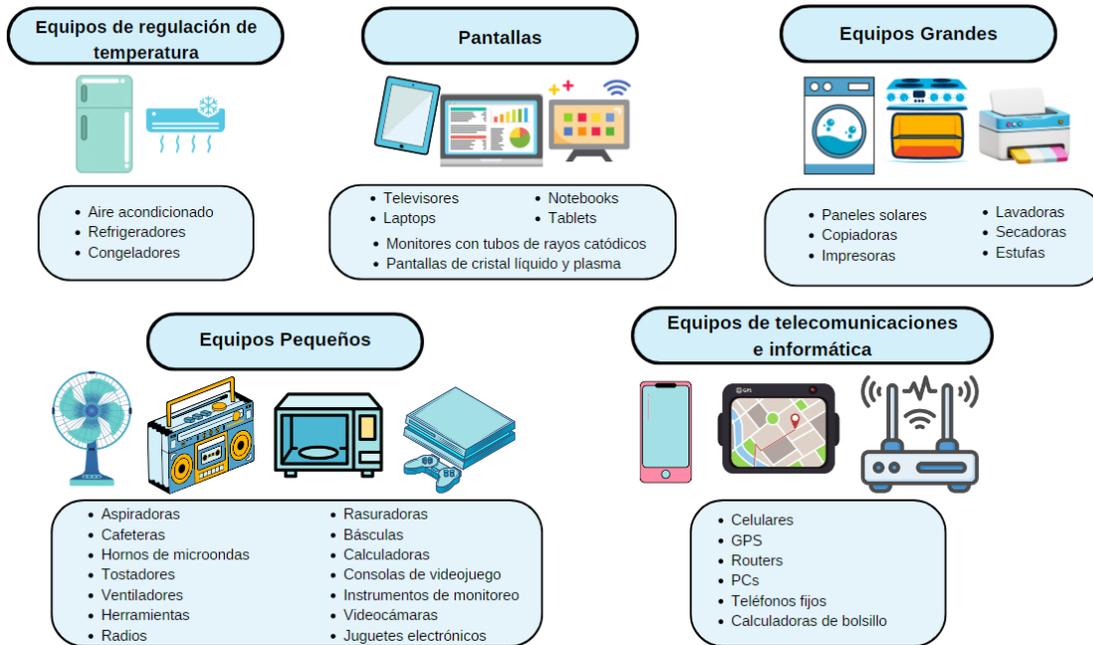


Figura 5. Clasificación de RAEE, categorías y componentes.
Fuente. SEMARNAT y PNUD (2017)

La composición de los desechos electrónicos depende ampliamente del tipo de dispositivo electrónico, el modelo, el fabricante, la fecha de fabricación y la antigüedad de los desechos. La mayor parte de los desechos electrónicos contiene metales, como metales preciosos, tóxicos, metales básicos, metaloides y metales de tierras raras (Tipre et al., 2021). Además de estos metales, los residuos eléctricos y electrónicos, están hechos con plásticos que fueron tratados químicamente y sustancias tóxicas. Todos estos materiales y sustancias resultan peligrosos para la salud de los seres vivos y para el medio ambiente, en especial para el suelo.

Los RAEE contienen compuestos o sustancias peligrosas, por ejemplo: plomo, mercurio, bifenilos, éteres de difenilo, retardantes de llama bromados y otros refrigerantes. En muchos RAEE se pueden encontrar materiales valiosos, entre ellos: metales no preciosos (hierro, acero, cobre, aluminio), metales preciosos (oro, plata, platino, paladio) y plásticos (Cruz-Sotelo et al., 2017). La **Figura 6**, muestra los elementos que se pueden encontrar en los RAEE, ya que, según el PNUD, este tipo de materiales tienen un 65.12% de potencial económico. Todos los materiales y sustancias de los RAEE representan un peligro potencial para el ambiente y la salud de los seres vivos, esto dado que al mezclarse pueden ser tóxicos. Además, muchos son recursos naturales no renovables y su consumo pone en

peligro su existencia o hace más costosa su disponibilidad. Los materiales que más se recuperan de los RAEE son los metales. Véase la **Figura 7**.

Aluminio – Al	Cadmio – Cd	Cobalto – Co	Paladio – Pd
Berilio – Be	Talio – Tl	Galio – Ga	Platino – Pt
Carbono – C	Mercurio – Hg	Germanio – Ge	Litio – Li
Cobre – Cu	Americio – Am	Europio – Eu	Plata – Ag
Hierro – Fe	Bario – Ba	Rutenio – Ru	Selenio – Se
Níquel – Ni	Arsénico – As	Oro – Au	Tantalio – Ta
Plomo – Pb	Bismuto – Bi	Indio – In	Torio – Th
Estaño – Sn	Boro – B	Manganeso – Mn	Terbio – Tb
Zinc – Zn	Antimonio – Sb	Niobio – Nb	Talio – Tl

Figura 6. Elementos químicos que se pueden encontrar en los RAEE

Fuente. Tiple et ál. (2021) y Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO)

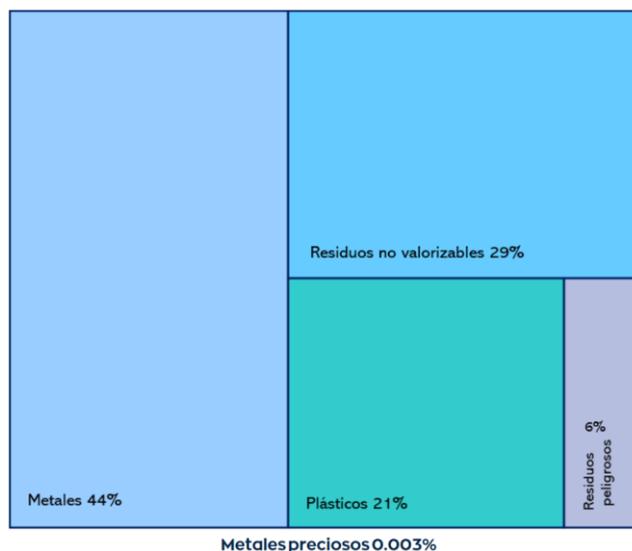


Figura 7. Porcentaje de materiales que componen los RAEE, valorizables y no valorizables.

Fuente. SEMARNAT (2017)

1.2.1 Generación

Forti et al. (2020) indican que, a nivel mundial, en 2019 se generaron aproximadamente 53,6 millones de toneladas (Mt) de desechos electrónicos. De esta cantidad, menos del 13% se recicló y el resto se descartó creando enormes problemas ambientales y de salud. En 2019,

la cantidad de desechos electrónicos generados en todo el mundo aumentó tres veces más rápido que la población mundial. Se estima que el volumen de generación de desechos electrónicos a nivel mundial superará los 74 Mt. para 2030 (Andeobu et al., 2021).

En Latinoamérica, México es el segundo país que genera más RAEE. Datos de SEMARNAT estiman que en el año 2015 se generaron 1, 103,570 t de RAEE, claro que la cifra de desechos seguirá aumentando. Los aparatos que mayormente generan RAEE son las pantallas y televisores, así como los dispositivos de uso personal. En la **Figura 8**, se muestran en porcentaje los AEE que originan RAEE en México. El flujo de estos desechos no es igual en todo el país, ya que aumenta conforme a la urbanización. Datos de PNUD indican que los estados que generan más residuos eléctricos y electrónicos son: la Ciudad de México, Jalisco, Baja California y el Estado de México, siendo la Ciudad de México la mayor generadora. Datos de PGIR 2021-2025, indican que en la Ciudad de México se producen alrededor de 117,550 t/año.

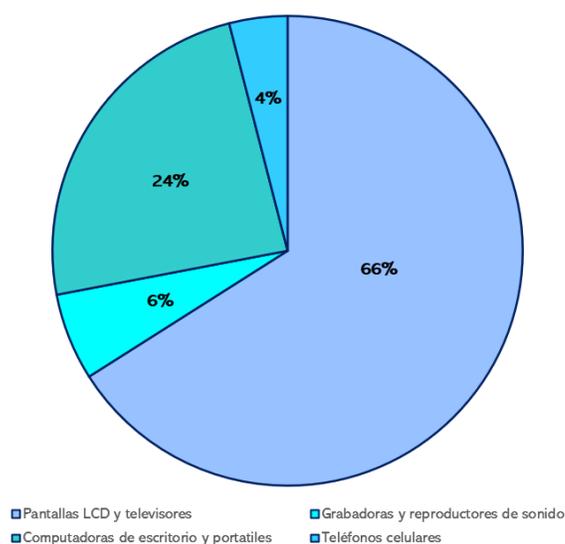


Figura 8. Porcentajes de las toneladas generadas de RAEE en México por AEE de origen.

Fuente. Riquelme (2021)

El ciclo de vida de un AEE inicia desde su producción, pasando por los distribuidores y consumidores que después generan el RAEE. Una vez que se genera el residuo, existen muchas etapas por las que puede pasar, como el almacenamiento, la entrega a recolectores formales e informales o desecharlos junto con otro tipo de residuos. En la **Figura 9**, se observan estas etapas, además se puede ver que una vez que se genera el RAEE, una de las mejores opciones para que sea aprovechado es entregarlo a recolectores formales, ya

que estos cuentan con el conocimiento, las técnicas adecuadas y la tecnología que hacen el proceso más seguro.

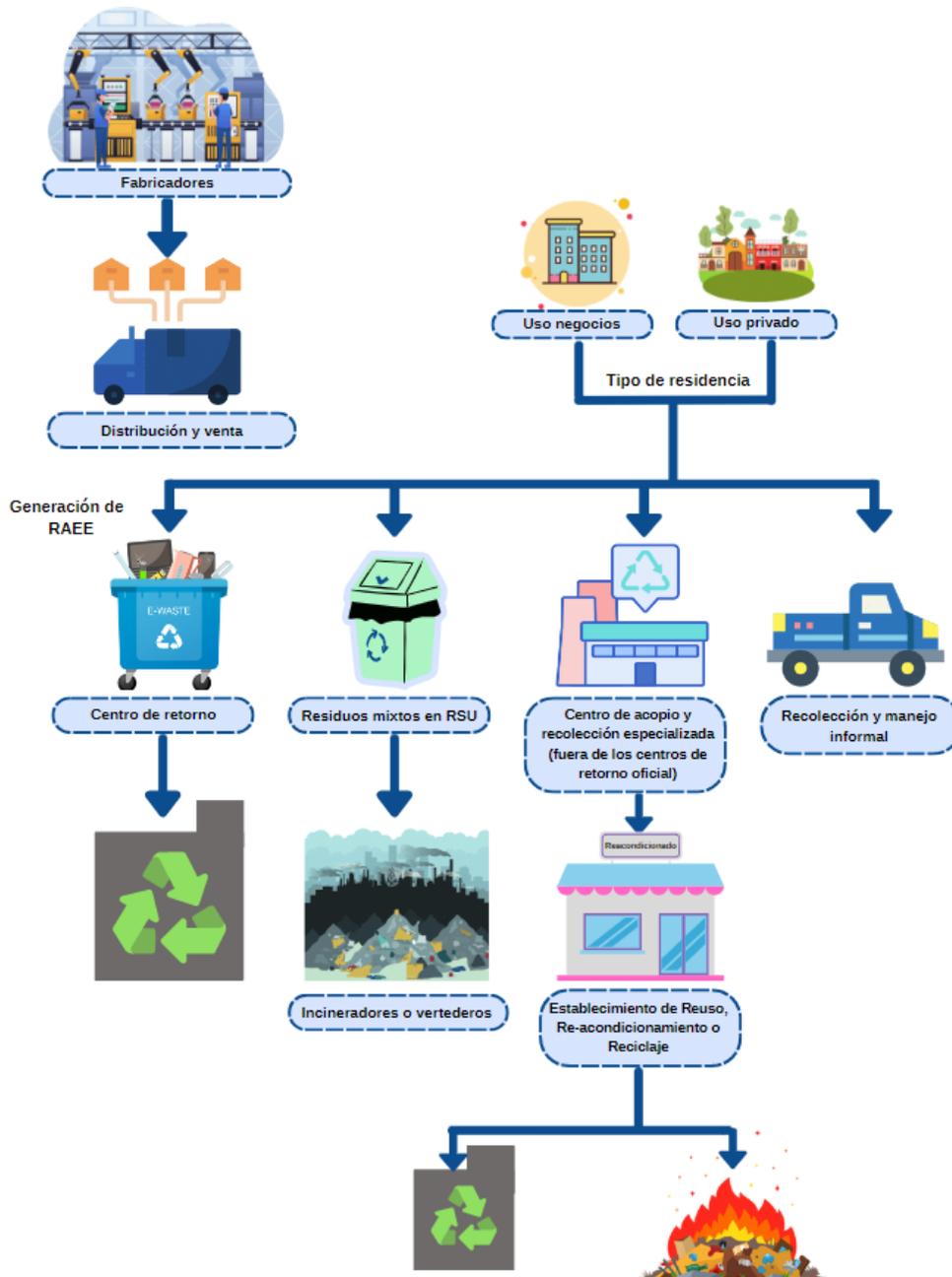


Figura 9. Ciclo de vida de AEE Y generación de RAEE
Fuente. SEMARNAT (2018)

1.2.3 Gestión y Normativas

Dadas las características especiales que poseen los residuos eléctricos y electrónicos, se debe de planificar y organizar el sistema para su gestión en el cual se involucren todos los actores que participan en la cadena. Sin embargo, esto representa un problema complejo

que afecta a todos los países, aunque se muestra como un gran desafío para los países en desarrollo, debido a que no cuentan con estrategias para realizar una correcta administración de estos residuos. Sus principales limitadores son el presupuesto con el que cuentan para la gestión de los residuos, la falta de infraestructura para su proceso y tratamiento, las instalaciones con las que se cuentan y la falta de tecnologías.

En México, los procesos planificados de reciclaje de RAEE aún no son comunes. Actualmente, la cantidad de materiales recuperados es muy pequeña, y el marco político y la infraestructura siguen siendo limitados. Por lo tanto, la infraestructura existente no puede procesar grandes cantidades de RAEE. La mayoría de las empresas de reciclaje de RAEE no ofrecen un ciclo de recuperación completo porque se centran solo en la recuperación de componentes valiosos, dejando de lado los componentes no valiosos (Pehlke et al., 2019).

Las normas que sirven para regular la generación, gestión y valorización de los residuos eléctricos y electrónicos, deben estar diseñadas por cada país y región conforme a las necesidades actuales, además en su creación, influyen aspectos como el nivel de desarrollo que tenga el país. México no cuenta con una normativa que los regule, pero sí participa en proyectos y convenios Nacionales e Internacionales.

Convenios internacionales:

- **Convenio de Estocolmo.**

El 23 de mayo de 2001 México firmó en Suecia el Convenio de Estocolmo, 2 años después, el 10 de febrero de 2003 lo ratificó y entró en vigor el 17 de mayo de 2004. Su objetivo es proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los contaminantes orgánicos persistentes (COP), así como promover el uso de mejores prácticas y tecnologías para reemplazarlos COP actuales y prevenir el desarrollo de nuevos por medio de políticas y planes nacionales de los participantes del convenio (SEMARNAT, 2015).

- **Convenio de Basilea.**

El objetivo general del Convenio es proteger la salud humana y el medio ambiente contra los efectos nocivos de la generación, el movimiento transfronterizo y el manejo de desechos peligrosos (SEMARNAT, 2015). El Convenio de Basilea ha establecido dos iniciativas para residuos electrónicos:

1. Asociación para la Acción sobre Equipos de Cómputo (PACE), que une a los gobiernos, la industria, las organizaciones académicas y la sociedad común. PACE ha creado numerosos conjuntos de recomendaciones técnicas para la

reparación, recuperación, reacondicionamiento y reciclaje de equipos informáticos (Vishwakarma et al., 2022).

2. La Iniciativa de Asociación de Teléfonos Móviles (MPPI) se presentó en 2002 en la 6.ª reunión de la Conferencia de las Partes del Convenio de Basilea para desarrollar y promover la gestión sostenible de los residuos de teléfonos móviles (Vishwakarma et al., 2022). Diferentes empresas de telefonía móvil se unieron a la iniciativa y firmaron una declaración para promover mejores prácticas.

- **Iniciativa StEP (solving the e-waste problem).**

Surge en el año 2004, aunque su lanzamiento formal fue en el año 2007 y su objetivo es diseñar estrategias que van desde la concientización para no generar residuos electrónicos, así como estrategias para su gestión.

- **Acuerdo de Róterdam.**

El Convenio está basado en un vínculo jurídico denominado “Consentimiento Fundamentado Previo” (PIC, del inglés Prior Informed Consent), permitiendo que los países importadores decidan que sustancias químicas desean recibir y excluir aquellas que no puedan manejar de manera segura para evitar riesgos a la salud humana y el ambiente (SEMARNAT, 2015). Además, promueve normas de etiquetado y actualmente regula más de 30 productos químicos, por lo que este acuerdo es aplicable a los electrónicos que contengan alguno de estos químicos.

Leyes:

- **Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR).**

Publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 08/10/2003.

Está centrada en la gestión de residuos sólidos urbanos, peligrosos y no peligrosos. No se menciona el tema de los residuos eléctricos y electrónicos, pero promueve la valorización de los residuos.

- **Ley General de Economía Circular.**

En el año 2021, en México se expidió la Ley General de Economía Circular (LGEC), la cual tiene como propósito que el Estado mexicano cuente con un marco normativo general que le permita utilizar, eficazmente y de forma sustentable, sus recursos naturales, económicos y humanos, que ayude a tener una mejor transición hacia un modelo de economía circular.

Además, tiene como objetivos principales:

- Reciclar los residuos y promover la reutilización y la asociación industrial, transformando los desechos que genere una determinada industria en las materias primas de otra, y así apoyar a los regímenes de recuperación y reciclado.

Dentro de las estrategias que tiene la LGEC para que se pueda lograr su implementación es hacer partícipes a todos los actores que estén involucrados, considerando la participación fundamental de los 3 órdenes de gobierno, la sociedad civil y la industria.

Para fines de esta investigación se han considerado fundamentales los siguientes artículos de la LGEC (2021):

- **Artículo 8.** Las atribuciones que esta Ley confiere a la Federación serán ejercidas por el ejecutivo federal, a través de la Secretaría, salvo las que directamente correspondan al presidente de la República por disposición expresa de Ley.
- **Artículo 9.** Son facultades del estado de las Entidades Federativas:
 - Formular, conducir y evaluar la política estatal, así como elaborar de manera coordinada con la Federación los programas en materia de residuos de manejo especial, según el Programa Nacional de Economía Circular, en el marco del Sistema Nacional de Planeación Democrática, establecido en el artículo 25 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.
 - Expedir reglamentos, normas oficiales mexicanas y demás disposiciones jurídicas necesarias para regular e impulsar una Economía Circular, así como el desarrollo económico del sector de los residuos sólidos.
 - Operar el programa Nacional de Economía Circular.
- **Artículo 10.** Los municipios y demarcaciones territoriales de la Ciudad de México tienen las siguientes facultades relativas a la Economía Circular:
 - Formular, por sí o en coordinación con las Entidades Federativas, y con la participación de representantes de los distintos sectores sociales, los programas municipales sobre Economía Circular los cuales deberán observar lo dispuesto en el Programa Estatal para la Economía Circular Correspondiente.
 - Participar y aplicar, en colaboración con la federación y el gobierno estatal, instrumentos económicos que incentiven el desarrollo, adopción y despliegue de tecnología y materiales según los principios de la Economía Circular.

- Incluir en sus programas municipales de Economía Circular, a los grupos informales que realicen alguna actividad relacionada con el reciclaje y el aprovechamiento de los residuos sólidos.
- **Artículo 16.** Está obligada a presentar ante la Secretaría un Plan de Responsabilidad Compartida, así como la formulación o adhesión a un plan de manejo de residuos, toda persona física o moral cuya actividad sea la fabricación, elaboración, producción o manufactura de:
 - I. Productos de corta vida útil;
 - II. Productos envasados;
 - III. Empaques y embalajes;
 - IV. Productos tecnológicos de consumo, y
 - V. Consumibles de productos tecnológicos.
- **Artículo 18.** Toda persona física o moral, cuya actividad sea la transformación o reciclaje de productos que hayan concluido su vida útil, deberá:
 - I. Registrar su actividad ante la Secretaría, de manera informativa, bajo los criterios que establezca la misma;
 - II. Contar con los permisos vigentes y requerimientos exigidos por la autoridad competente en las Entidades Federativas donde realizan dicha actividad, y
 - III. Reportar de manera informativa a la Secretaría el volumen total de residuos manejados y el destino de ellos, bajo las disposiciones y formatos que esta disponga.
- **Artículo 24.** Toda persona física o moral que sea considerado gran generador de residuos de Residuos de Manejo Especial, según lo establecido por la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos y las Normas Oficiales vigentes, estará sujeta a los instrumentos de control para la disminución de residuos confinados en rellenos sanitarios, de conformidad con lo señalado en el artículo 55 de la presente Ley.
- **Artículo 27.** El Gobierno Federal, los gobiernos de las Entidades Federativas y los municipios y demarcaciones territoriales de la Ciudad de México, en la esfera de sus competencias, promoverán:
 - I. La participación de las personas físicas o morales para disminuir la destrucción de valor en las diferentes actividades económicas, y

II. La elección de productos susceptibles de ser reparados, remanufacturados, reprocesados, reutilizados o reciclados, sobre aquellos que no puedan transformarse bajo los preceptos de la Economía Circular.

- **Artículo 38.** Toda persona física o moral, cuya actividad sea la fabricación, elaboración, manufactura, producción, distribución o venta de productos electrónicos que se comercialicen o distribuyan en territorio nacional, deberá informar al consumidor si el producto es susceptible de ser reparado, remanufacturado, reutilizado o reciclado, y presentar esta información en su plan de manejo entregado a la Secretaría.

- **Artículo 58.** Los Programas Estatales y Municipales, son los instrumentos de política que tienen por objeto establecer las acciones para la gestión y manejo integral de la Economía Circular. Dichos programas deberán incluir mínimamente lo siguiente:
 - I. La política y estrategias en materia de mitigación de destrucción de valor;
 - II. Definición de objetivos y metas cuantitativas;
 - III. Mecanismos de actualización;
 - IV. Diagnóstico estatal o municipal de aprovechamientos de recursos

- **Artículo 67.** Los gobiernos municipales deberán incluir en sus programas municipales de Economía Circular a los grupos informales que realicen alguna actividad relacionada con el reciclaje y el aprovechamiento de los residuos sólidos que generan los habitantes de sus localidades.

- **Artículo 69.** Los grupos informales dedicados a la pepena que laboren en cualquier vertedero de residuos sólidos a cargo de los gobiernos municipales o en donde sean vertidos los que sean recolectados por el servicio municipal, deberán ser regularizados por las instituciones municipales o los organismos operadores, con el objetivo de mejorar su calidad de vida, incrementar las tasas de recuperación de los materiales reciclables, mejorar la operatividad de los vertederos y dar cumplimiento a las Normas Oficiales Mexicanas aplicables.

- **Artículo 70.** Los gobiernos municipales serán responsables de regularizar e integrar en un Padrón Oficial, a los recicladores que realicen alguna actividad de acopio, compraventa, reciclaje y aprovechamiento de los subproductos con valor comercial,

con el fin de promover el desarrollo del mercado del reciclaje, incrementar las tasas de recuperación de materiales reciclables, mejorar las condiciones de trabajo en sus instalaciones y profesionalizar su actividad.

- **Artículo 71.** Los gobiernos municipales, con el apoyo de los gobiernos estatales, deberán promover y difundir una red de recicladores en su ámbito territorial, con el fin de promover el conocimiento de su existencia y localización entre la ciudadanía, para el desarrollo del mercado del reciclaje.
- **Artículo 72.** En el marco del proceso de regularización de los grupos informales, se incluirá un programa para mejorar e incrementar su capacidad para captar y clasificar materiales, y aumentar el valor agregado a los materiales que comercializa; para el desarrollo del mercado de reciclaje.
- **Artículo 73.** Los gobiernos municipales, deberán presentar anualmente a la Secretaría un reporte con el inventario de las cantidades generadas de subproductos con valor comercial contenidos en los residuos que generan, sus porcentajes de recuperación, destino y actividades en que son empleados.

Normas oficiales mexicanas:

- **NOM-052-SEMARNAT-2005.**
Establece el procedimiento para identificar si un residuo es peligroso, el cual incluye los listados de los residuos peligrosos y las características que hacen que se consideren como tales. (SEMARNAT, 2006)
- **NOM-161-SEMARNAT-2011.**
Establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de estos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. (SEMARNAT, 2014)
- **NADF-019-AMBT-2018- Requisitos y Especificaciones para el manejo de Residuos Eléctricos y Electrónicos.**
Establecer los requisitos y especificaciones para la correcta separación, almacenamiento, acopio, recolección, transporte, tratamiento, reciclaje y disposición

de los residuos eléctricos y electrónicos dentro del territorio de la Ciudad de México.
(Secretaría del Medio Ambiente, 2020)

Como se mencionó, en México 4 Estados son los mayores generadores de RAEE, por lo que fueron tomados como estados piloto para crear el proyecto “Manejo Ambientalmente Adecuado de residuos con Contaminantes Orgánicos Persistentes en México”, conducido por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en México. Su principal objetivo es que de la mano con las autoridades locales y otros se puedan promover acciones y planes que ayuden a desarrollar soluciones para el manejo de los residuos.

1.3 Valorización de los RAEE en México

La Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos define a la valorización como, cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función, en la instalación o en la economía en general.

La aplicación de buenas prácticas para el manejo de RAEE propician que desde la etapa de generación puedan valorizarse los productos usados y RAEE a través de procesos y actividades dirigidas primeramente al reúso o reutilización mediante el reacondicionamiento, el reciclaje de la mayor cantidad posible de sus componentes y en último lugar considerar la alternativa de disposición final (relleno sanitario o confinamiento), limitada sólo a aquellos residuos cuya valorización o tratamiento no sea económicamente viable, tecnológicamente factible y ambientalmente adecuada (SEMARNAT, 2018).

La **Figura 10** muestra cuáles son las prácticas más favorables y menos favorables para el manejo de AEE Y RAEE. La primera etapa es la prevención, durante esta fase se debe buscar alargar el tiempo de vida de los productos, este es un trabajo que deben hacer los fabricantes, sin embargo, el consumidor también debe de buscar formas para alargar el tiempo de vida de sus productos. La siguiente etapa es la reparación para la reutilización, es parte de una aquí todavía se considera al producto como un AEE y se busca alargar más su tiempo vida. Una vez que el producto ya no puede ser reparado, ni reutilizado se considera un RAEE y se pasa a la siguiente etapa que es el reciclado. En México el reciclaje formal de RAEE se lleva a cabo en plantas en los que mayormente se obtienen dos tipos de materiales: plástico y metales. Lamentablemente, no se cuentan con las instalaciones para el refinado de las tarjetas electrónicas las cuales tienen dentro muchos componentes valiosos.

Por otro lado, cabe destacar que la industria de la transformación de plásticos derivado de RAEE en el país no es fuerte, por lo que también se dan exportaciones para este material (SEMARNAT, 2018). La cuarta etapa es la valorización, la Separación y Desensamble (SyD) de RAEE es la etapa donde se potencializa la valorización de estos mediante procesos de separación manuales, mecánicos, de fragmentación o triturado obteniendo así diferentes materiales y fracciones que por sus características son susceptibles a aumentar su vida útil como refacciones a través del reacondicionamiento o su posterior transformación mediante distintos procesos que permiten restituir su valor económico, evitando su disposición final. Asimismo, durante esta etapa también se separan los materiales, residuos o sustancias que, por sus características, son considerados como residuos peligrosos y que requieren un manejo diferenciado (SEMARNAT, 2018). Cuando el RAEE no puede ser valorizado, pasa a la última etapa que es la disposición final.

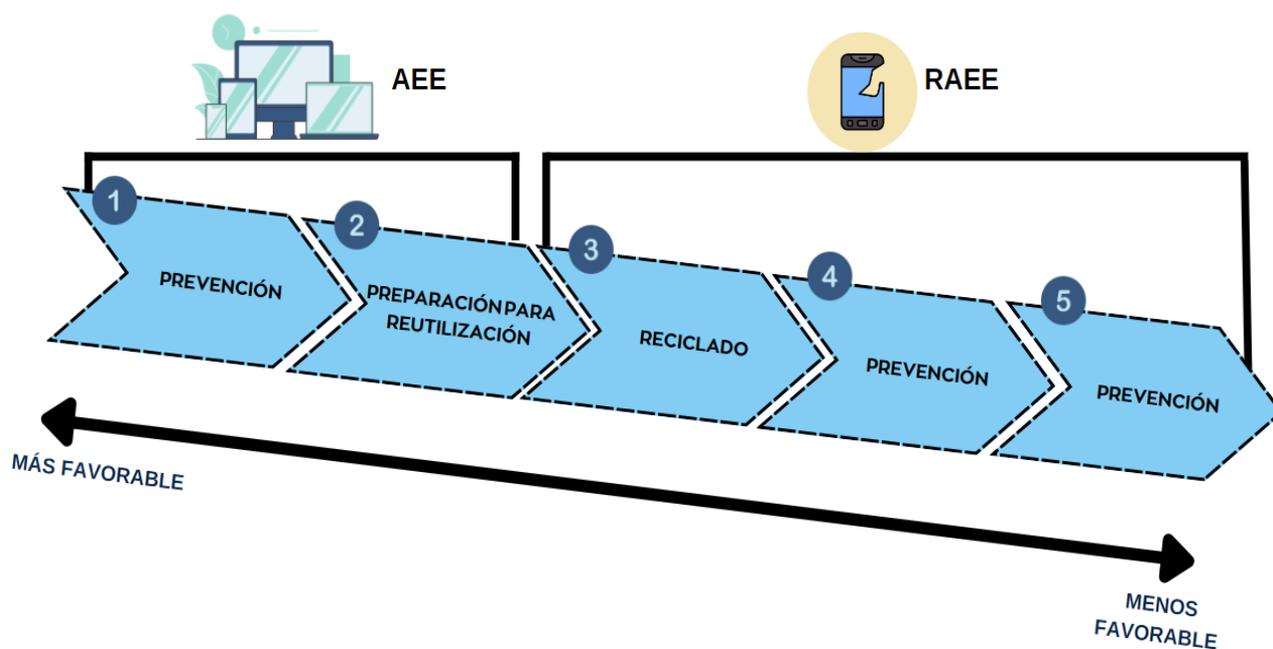


Figura 10. Buenas prácticas para el manejo de RAEE

Fuente. SEMARNAT, 2018

La valorización de los RAEE es muy importante ya que estos tienen dentro materiales que son muy valiosos de forma económica y ambiental. Si se valorizan adecuadamente los materiales se pueden reincorporar a la cadena de suministro de cualquier tipo de AEE. La **Figura 11** muestra los posibles materiales (ya que con los avances tecnológicos siempre están cambiando) que se encuentran dentro de estos residuos. Cada año se utilizan más de 300 toneladas de oro en AEE, y es insustituible debido a su alta conductividad eléctrica y resistencia a la corrosión. Las concentraciones de oro oscilan entre 300 y 350 g/tonelada

para teléfonos móviles y entre 200 y 250 g/tonelada para placas de circuito impreso. Por lo tanto, se debe prestar especial atención a la minería urbana, ya que los RAEE concentran metales preciosos en una proporción de 10:1 en comparación con las fuentes de metales primarios (Oestreicher et al., 2020).

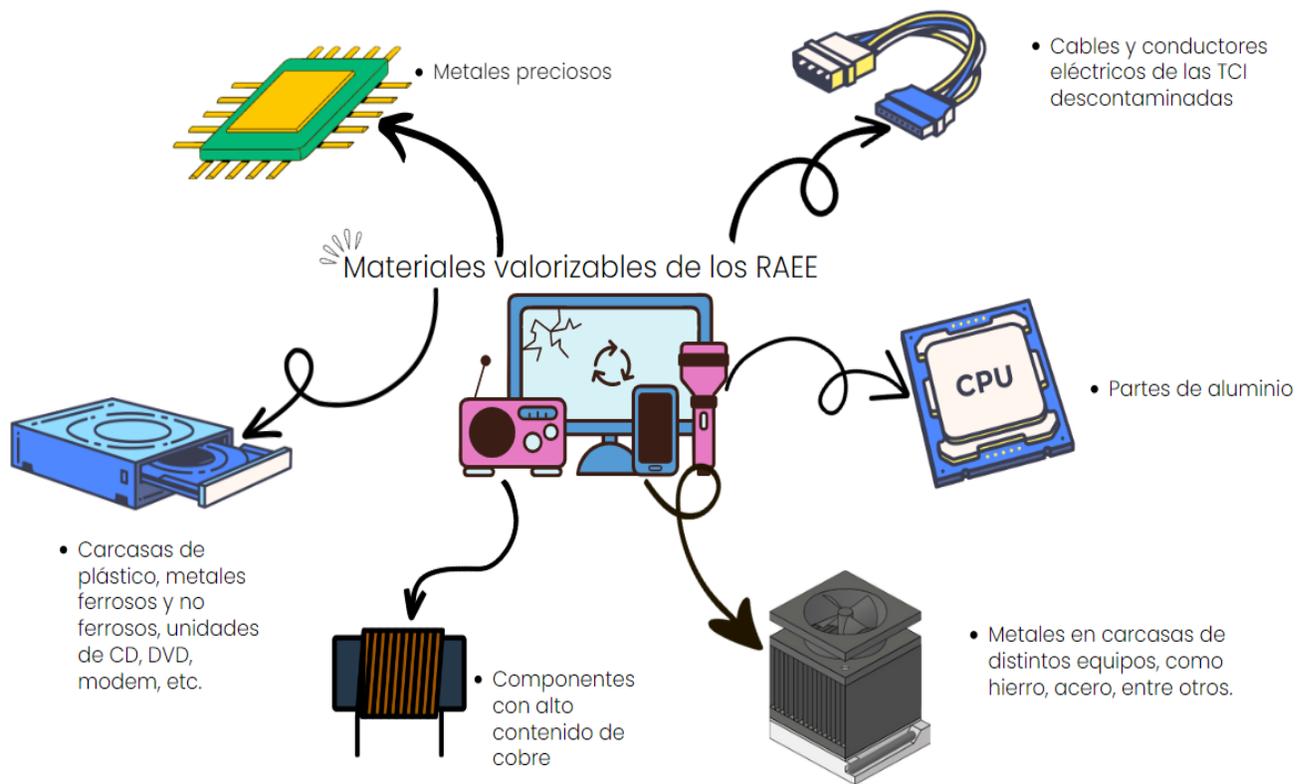


Figura 11. Materiales dentro de los RAEE

Fuente. SEMARNAT, 2018

En México se han creado diversos programas orientados a la valorización de estos residuos mediante el reciclaje. Por lo regular en estos programas colaboran sociedades civiles, empresas dedicadas a la generación de AEE y el gobierno. Véase **Tabla 3**. Todos estos proyectos son colaborativos, es decir tiene que existir el interés de las otras partes para que puedan funcionar. Si los consumidores no se interesan en ellos difícilmente podrán seguir. Estos programas sirven como base para que se implementen más programas de su estilo y para que se evalúen y se determine las oportunidades que tienen para crecer.

Programa	Características
Reciclatrón	Es un programa gratuito desarrollado por la SEDEMA, que se encarga de la recolección de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Su principal objetivo es promover las buenas prácticas del manejo, separación y reciclaje de los RAEE. Una vez que se recolectan estos residuos, se almacenan en la empresa Recupera, en donde se separan y clasifican para ser enviados a diversas empresas que puedan encargarse de su reciclaje.
Plan colectivo RLGA	Es un plan que se diseñó con el fin de dar cumplimiento a la LGPGIR y la NOM-161-SEMARNAT-2011. Fue formulado como Plan de Manejo Privado, Colectivo y Nacional, entre empresas productoras e importadores de tecnología de la información y las comunicaciones y es administrado y operado por RLG México. Además, este plan se encargará de gestionar residuos, como: equipos de cómputo, teléfonos celulares, pantallas, cables electrónicos, entre otros.
Punto verde	Es un centro de acopio permanente para el correcto reciclaje de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Trabaja con asociaciones y gobiernos. Propone una solución para la gestión integral de los RAEE: basada en el principio de la Responsabilidad Extendida del Productor (REP), que permitirá a todas las fuentes de generación de RAEE en México sean manejados de manera sostenible.
Programa HP Planet Partners – Reciclaje de suministros	Es un programa para el reciclaje y el aprovechamiento de los suministros de tóner y tinta de la marca HP y de los suministros de tóner de Samsung. Pueden ser entregados en algunos puntos o a domicilio de forma gratuita.
Telcel	Dentro de sus centros de atención al cliente se pueden llevar los celulares que no sirvan para su acopio.
Ponte Pilas con tu Ciudad	Brinda una alternativa ambientalmente adecuada para el manejo y reciclaje de pilas usadas.

Tabla 3. *Programas para valorización de RAEE*

Fuente. Elaboración propia con datos de RSyS (2014), RLG (2015), SEDEMA CDMX (s.f.), Telcel (s.f.), HP (s.f.)

En gran parte del mundo, la recolección de los RAEE la realiza el sector informal. El sector informal se refiere a: "individuos o empresas que participan en actividades de reciclaje y gestión de residuos del sector privado que no están patrocinadas, financiadas, apoyadas, organizadas o reconocidas por las autoridades formales de residuos sólidos, o que operan en violación de o en competencia con autoridades formales (Xue et al., 2019). Los recolectores informales gestionan los RAEE, mediante su desensamble para poder comercializar sus partes valiosas con terceros. Las técnicas que utiliza este sector son inapropiadas, lo que puede provocar más daños al medio ambiente y a la salud de quienes hacen esta labor, así como a las personas que se encuentran alrededor. Los efectos sobre la

salud de la exposición a los desechos electrónicos incluyen problemas respiratorios, trastornos de la piel, daño cerebral agudo, accidente cerebrovascular, asma, tos, bronquitis, desarrollo pulmonar reducido e hipertensión arterial (Decharat; & Kiddee, 2020).

En la **Tabla 4**, se muestra una lista de algunos componentes que se encuentran presentes dentro aparatos eléctricos y electrónicos, en cuales se pueden encontrar y cuáles son los daños a la salud que pueden tener las personas que están expuestas a ellos. Es por eso por lo que una vez que se vuelven RAEE deben de pasar por procesos sostenibles.

Componente	En donde se puede encontrar	Daños a la salud
Cadmio	<ul style="list-style-type: none"> • Baterías recargables de computadoras • Contactos eléctricos 	<ul style="list-style-type: none"> • Riñones • Huesos
Mercurio	<ul style="list-style-type: none"> • Monitores de pantalla plana • Pilas (no recargables) 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema nervioso central (particularmente en etapas tempranas de desarrollo) • Sistema cardiovascular y pulmonar • Riñones • Vista
Plomo	<ul style="list-style-type: none"> • Tubos de rayos catódicos (CRT) instalados en pantallas de ordenador y televisión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sangre
Níquel	<ul style="list-style-type: none"> • Baterías 	<ul style="list-style-type: none"> • Efectos sobre el sistema pulmonar y respiratorio, alergias, irritación en los ojos y la piel.
Litio	<ul style="list-style-type: none"> • Baterías 	<ul style="list-style-type: none"> • Ocasiona afecciones en el sistema nervioso, fallas respiratorias y náuseas
Berilio	<ul style="list-style-type: none"> • Interruptores • Transmisores • Conectores 	<ul style="list-style-type: none"> • Es considerado como un elemento cancerígeno • La inhalación de humos y polvos de berilio puede causar enfermedades pulmonares.
Tubos de rayos catódicos	<ul style="list-style-type: none"> • Monitores y televisores con tubo 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede causar daños cognitivos en los niños • En los adultos puede afectar el sistema nervioso, reproductivo y circulatorio en los adultos

Tabla 4. Componentes tóxicos
Fuente. Greenpeace Argentina (2017)

Los RAEE son residuos que pueden ser muy bien aprovechados para generar ganancias económicas y ambientales, es por eso por lo que se deben de reciclar adecuadamente para no perder su valor.

Para el reciclaje de los RAEE se utilizan cuatro métodos o técnicas:

- Desmontaje y separación manual de los componentes del aparato.
- Reciclaje mecánico, extracción y triturado de materiales.
- Incineración y refinado para la recuperación de metales.
- Reciclaje químico de metales preciosos (oro, plata...) de las placas de circuitos impresos (Jorge E, 2020).

Métodos para la extracción de metales

Actualmente, la recuperación de metales de RAEE implica cuatro pasos: recolección, clasificación, tratamientos mecánicos y refinación final. En este escenario, se debe diseñar un camino viable hacia el reciclaje de RAEE teniendo en cuenta los cuatro pasos, lo que implica superar obstáculos técnicos, pero también económicos, sociales y culturales (Oestreicher et al., 2020).

Existen varios métodos para la extracción de metales, algunos producen más daño al ambiente y a la salud, estos son:

Pirometalurgia.

Es la técnica tradicional para la extracción de metales y consiste en la obtención de los metales mediante altas temperaturas de calor. Debido a las técnicas que utiliza para la extracción de los metales, está considerado como el modelo más dañino para el medio ambiente. La secuencia del procesamiento de los materiales metálicos por pirometalurgia incluye las siguientes etapas (Muñoz, 2016):

- 1) Preparación de los minerales:** Se hace por procesos como la trituración y molienda (se reduce el tamaño de los minerales), la clasificación (clasifica las partículas de los minerales por tamaño) y la concentración (separa de un mineral la mayor parte de la ganga, de forma que el mineral quedará enriquecido o concentrado. Algunas de las operaciones de concentración más empleadas son la flotación y la separación magnética.).
- 2) Extracción del metal:** Este proceso se divide en tres grupos:
 - a) métodos de reducción óxidos metálicos.**
 - b) métodos de reducción de haluros metálicos.**

c) métodos reducción de sulfuros metálicos.

Además, existen operaciones que se utilizan en el proceso de extracción del metal (calcinación, tostación, fusión, volatilización, electrólisis de sales fundidas, metalotermia), estas operaciones son opciones, ya que no es necesario utilizar todas.

3) Afino: La purificación o afino es la separación del metal principal de otros elementos.

Hidrometalurgia.

La hidrometalurgia es una de las principales vías para la obtención de metales necesarios para el desarrollo de la sociedad y para nuestra vida cotidiana (Cabrera, 2017). Para la extracción del metal, la hidrometalurgia utilizada los siguientes pasos:

- Lixiviación: La lixiviación es la remoción de una fracción soluble de una fase sólida insoluble y permeable, en forma de solución. Los agentes lixiviantes pueden contener agua, ácidos, bases y sales (Ruiz & Castro (2020)).
- Purificación: Esta etapa va después de la lixiviación y su objetivo es retirar impurezas de la disolución, haciendo uso de métodos químicos que sirvan para retirar metales
- Precipitación: En esta etapa se separa el metal valioso de la disolución.

Los métodos hidrometalúrgicos para la extracción de metales son más exactos, en comparación con la pirometalurgia, son altamente predecibles y se pueden controlar fácilmente, pero la desventaja es que algunos solventes como cianuros y cloruros son altamente peligrosos (Tipre et al., 2021).

Biohidrometalurgia

Es una de las técnicas de extracción de metales que genera menos problemas ambientales haciendo uso de elementos que se encuentran dentro del medio ambiente, como son las bacterias. Se encuentra dentro de las actividades que hacen un reciclaje sostenible. Aprovecha la capacidad natural de algunos microorganismos y sus productos metabólicos para extraer metales de interés de los residuos. El proceso puede realizarse de manera directa, de forma que la extracción se lleva a cabo en presencia de los microorganismos en un paso (inoculando los microorganismos en el medio con el residuo a tratar) o en dos pasos (añadiendo el residuo cuando los metabolitos microbianos ya se han formado). El proceso indirecto consta de dos pasos tal que los metabolitos generados por los microorganismos se recogen y se usan para la extracción de los metales del residuo en otro medio, pero ahora en ausencia de microorganismos. El método directo se emplea mucho más que el indirecto (Crespo, 2018)

1.4 Problemas de la valorización de los RAEE

1.4.1 Ambientales

Los aparatos eléctricos y electrónicos suelen tener una gran gama de sustancias entre las que se encuentran metales y plásticos; las cuales si no son tratadas adecuadamente pueden ser muy peligrosas al momento de su reciclaje. La mayor parte (80%) de los desechos electrónicos procesados en todo el mundo es manejada por el sector informal, y gran parte de este trabajo ocurre en países de ingresos bajos y medianos donde los marcos legales y de políticas son inexistentes o no se aplican (Takyi et al., 2021). Como ya se mencionó, el sector informal, no está capacitado para manejar los residuos electrónicos, ya que en las operaciones de separación y reciclaje utilizan métodos inadecuados como el desmontaje manual o la quema a cielo abierto que pueden liberar material tóxico que se encuentra en estos residuos, provocando graves problemas ambientales al contaminar el aire, el agua y el suelo; además ponen en riesgo su salud y la del entorno. A pesar de esto, tienen un porcentaje de participación elevado en el proceso de gestión, el cual empieza desde que se generan los residuos; además interviene en la recolección, transporte, procesamiento, desmantelamiento y reparación.

El impacto ambiental de los desechos electrónicos de estas sustancias tóxicas puede acumularse en el suelo, el agua y las fuentes de alimentos. Una vez en el medio ambiente, persisten durante largos períodos, factor que aumenta el riesgo de exposición (Decharat; & Kiddee, 2020).

Los celulares son de los AEE con mayor flujo de crecimiento, se estima que en promedio estos son remplazados cada catorce meses (Publimetro, 2017), generando una gran cantidad de residuos que por los materiales que los componen pueden ser peligrosos para el medio ambiente si no son tratados adecuadamente.

1.4.2 Sociales

El reciclaje informal de RAEE tiene impactos sociales negativos. Por lo regular las personas que pertenecen al sector informal son personas de bajos recursos económicos o con un nivel escolar bajo, que tienen que trabajar bajo condiciones inadecuadas y peligrosas durante el desmantelamiento de los dispositivos, para después vender los materiales de valor que logran obtener. Como ya se mencionó, también existen consecuencias a la salud, tanto para las personas que se dedican a desmantelar, así como a las personas que se encuentran cercanas a los sitios dedicados a esto.

En la Ciudad de México existe una gran cantidad de personas que se dedica al reciclaje informal, mediante la recolección puerta a puerta, así como en unidades económicas en las que valorizan los RAEE, sin embargo, no tienen los conocimientos suficientes en el proceso para su reciclaje.

1.4.3 Regulatorios

Como ya se mencionó existen algunos, acuerdos, normativas, programas y recientemente una ley que están orientados a el aprovechamiento de los RAEE. Sin embargo, en la CDMX aún no se tiene bien definido el tipo de acciones que se tienen que hacer para cumplir con estos objetivos. Si bien la CDMX se propuso encaminar la valorización de los residuos hacia una economía circular, la parte de los RAEE aún no está bien definida. Se tiene que considerar que todos estos programas deben de incentivar la participación de todos los entes sociales. Se debe tener mayor conciencia de los impactos negativos y positivos que se tiene si se valorizan los RAEE.

Se puede tomar como ejemplo otras economías que han empezado a incorporar procesos que valorizan los RAEE y las medidas que han empezado a adoptar. No se puede copiar ya que las economías son diferentes, pero si se pueden tomar algunos conceptos.

Hace falta que las normas con las que cuenta el país se actualicen y se evalúen con frecuencia para evitar su estancamiento. No se debe olvidar que esta industria es muy cambiante.

1.4.4 Económicos

La generación de residuos electrónicos está directamente relacionada con el PIB de un país. Se ha demostrado que el consumo de equipos de telefonía celular está entre 1 y 1.1 teléfonos celulares por persona, y que a medida que aumenta el PIB del país, la generación de residuos aumenta a un ritmo similar (Córdova et al., 2019). Es decir, el total de RAEE generado, el PIB del país y el tamaño de la población, son tres factores que están correlacionados.

Las placas de circuito impreso en teléfonos celulares muestran que el valor total de los materiales de desechos electrónicos de teléfonos celulares oscila entre \$ 11,277 y \$ 12,444 millones de dólares por año en México. Sin embargo, un valor de solo \$ 0.677 millones de dólares se recicla a través de canales formales (Córdova et al., 2019).

Además, se estima que en el año 2022 en el país había cerca de 94 millones de personas usuarias de telefonía celular, lo que ha sido un gran incremento si comparamos que en el

año 2017 el número de usuarios de teléfono celular fue de 80 millones (INEGI 2023). Véase **Figura 12**.

Como se mencionó en este capítulo, los RAEE contienen materiales valiosos que pueden ser incorporados a una nueva cadena de producción. Por ello se debe de impulsar una nueva industria de los celulares en la que se pueden reparar y reintegrar a un nuevo ciclo de venta o aprovechar todos los materiales que contiene y son valiosos para la producción de nuevos aparatos.

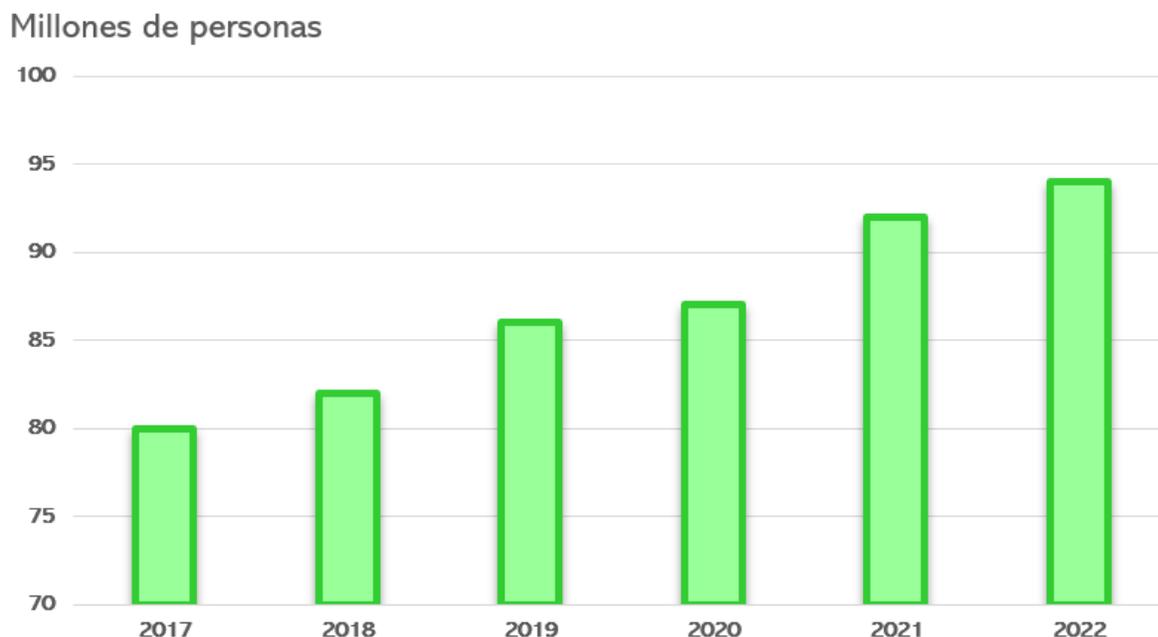


Figura 12. Usuarios de teléfono celular en el período de 2017 al 2022

Fuente. INEGI 2023

1.5 Problema de investigación

Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos por su manejo son uno de los de mayor complejidad debido a la amplia variedad de componentes y a que sus diseños cambian rápidamente (Ackah, 2017). La amplitud de diseños está asociada con el tiempo de vida de los productos y al aumento de los residuos.

Datos obtenidos de Future E-waste Scenarios (2019) señalan que para 2050, en el mundo se generarán aproximadamente 111 millones de toneladas de desechos electrónicos. Uno de los factores que impulsan este crecimiento exponencial es el aumento en la demanda.

Específicamente, la industria de teléfonos celulares es de las que más crece, por eso es importante establecer prácticas económicamente viables y que a la vez sean sostenibles.

Como se mencionó, los RAEE tienen un valor económico que se está desperdiciando. El trabajo de valorización de RAEE que hacen las unidades económicas en la Ciudad de México es limitado, ya que desconocen el valor que tienen y sólo se dedican a desmantelar para sacar algunas piezas que les son interesantes o necesarias. Una vez que hacen esto se deshacen del resto de los RAEE, juntándolos con otros residuos, lo cual además de que es una pérdida económica, también representa un peligro para el medio ambiente.

Es necesario formular modelos económicos que integren el concepto de economía circular para aprovechar en mayor medida el valor económico de los RAEE y reducir así las externalidades negativas de su generación. En la formulación de modelos de negocio circulares para RAEE es necesaria la consideración de que son muchas y diversas las unidades económicas que participan a su valorización.

1.6 Objetivos de la tesis

Objetivo de la tesis

Formular un modelo de negocio circular dirigido a empresas valorizadoras RAEE a partir de las prácticas circulares que realizan. El diseño del modelo de negocio tiene dos propósitos, por un lado, aprovechar en mayor medida el valor económico de los residuos y, por otro lado, reducir las externalidades negativas. Las empresas que se consideraron son aquellas que se dedican a la reparación de celulares en la Ciudad de México.

Objetivos específicos

1. Ubicar geográficamente a las unidades económicas cuya actividad es la valorización de RAEE. En particular empresas reparadoras de celulares.
2. Bosquejar la red logística de unidades económicas que valorizan RAEE.
3. Identificar las prácticas circulares que realizan las unidades económicas.
4. Formular el modelo de negocio con el que operan las unidades económicas valorizadoras de RAEE.

1.7 Justificación y Alcances

Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos han tenido un incremento exponencial los últimos años, lo que los ha llevado a posicionarse como el flujo de residuos de mayor crecimiento en todo el mundo. México es el segundo país en Latinoamérica que genera más de estos residuos; sin embargo, la información que se tiene sobre ellos está muy limitada y

aún no está al alcance de todos. Sin la información necesaria, es probable que las medidas que se tomen sean incorrectas e impidan que se aprovechen de forma adecuada estos materiales.

Este estudio es una investigación documental y exploratoria que pretende identificar las prácticas circulares que se tienen para el aprovechamiento de los residuos eléctricos y electrónicos que permitan determinar escenarios comparativos de la situación actual que se vive y que sirvan para avanzar de manera informada mediante prácticas y regulaciones internacionales y nacionales hacia una economía circular que de paso a una mejor valorización de los residuos eléctricos y electrónicos sin perder de vista los aspectos de sustentabilidad.

Dentro de las limitaciones que se pueden tener es que los datos de esta investigación están centrados en unidades económicas valorizadoras de RAEE en la Ciudad de México, además los modelos de negocio presentan particularidades, es decir no se puede asegurar que estas prácticas son iguales en otros lugares, además, estas unidades económicas son un mercado muy volátil en el que fácilmente pueden cerrar algunas y surgir otras.

CAPÍTULO 2. Modelos de negocio circulares para RAEE

2.1 Modelo de negocio

El modelo de negocio es un sistema de recursos y actividades, que crean un valor útil para el cliente y la venta de este valor genera dinero para la empresa. Osterwalder et al. (2010), desarrollaron el Business Model Canvas (BMC), la cual es una herramienta de visualización del modelo de negocio (MN) que describe la lógica de cómo una organización crea, entrega y captura valor (N Fitrihana et al., 2019). Su principal contribución se debe al hecho que permite la creación de prácticas que ayudan a las organizaciones a capturar, comprender, diseñar y analizar sus cambios lógicos de negocio. El lienzo de modelo de negocio se compone de nueve bloques de construcción que representan a la organización de forma simple y cubren las cuatro áreas principales de una empresa: clientes, suministro, infraestructura y viabilidad económica, las cuales están interconectadas (Pereira, S. G. M et al., 2016). Véase **Figura 13**

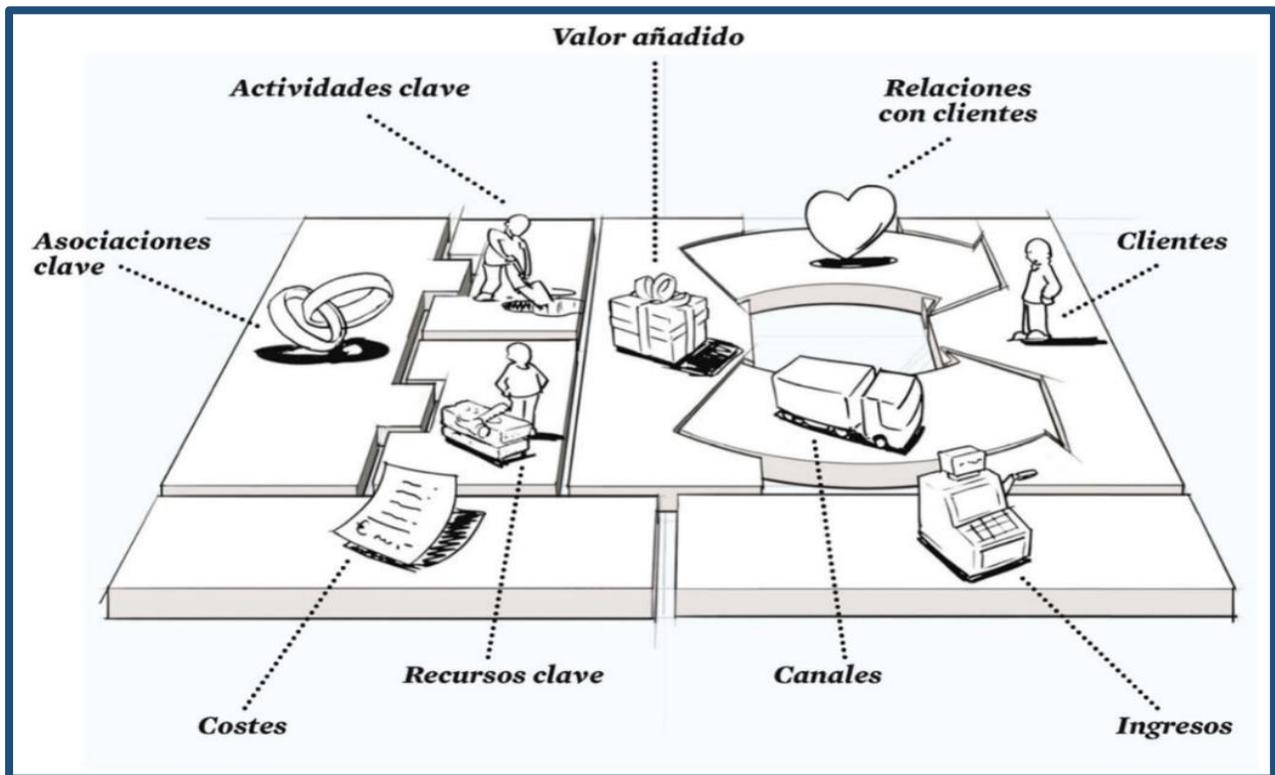


Figura 13. CANVAS del Modelo de Negocio

Fuente. Clark Tim et al. (2013)

En la **Tabla 5**, se hace una descripción de cada uno de los bloques que se encuentran en este lienzo. Como se puede observar los bloques del modelo de negocio no tienen que ser fijos, es decir se puede cambiar con el tiempo adaptándose a las necesidades que existan en

el momento. La innovación en un modelo de negocio permite a la empresa ser competitiva. El lienzo del modelo de negocio propuesto por Osterwalder y Pigneur (2010), permite a sus usuarios alinear la ganancia con propósitos como aspectos ambientales y sociales (Daou et al., 2020).

Modulo	Descripción
Clientes	Los clientes son la razón de ser de una organización. Ninguna organización puede sobrevivir mucho tiempo sin clientes que paguen por sus servicios.
Valor añadido	Se entiende como los beneficios que aporta un conjunto de servicios o productos a los clientes. Entre los elementos de valor se encuentra la comodidad, el precio, el diseño, la marca o estatus, la reducción de costos y la reducción de riesgos.
Canales	Los canales tienen cinco funciones: <ol style="list-style-type: none"> 1. Dar a conocer los productos o servicios 2. Ayudar a los clientes potenciales a evaluar los productos o servicios 3. Posibilitar la compra a los clientes 4. Proporcionar valor a los clientes 5. Garantizar la satisfacción de los clientes con un servicio de atención posventa.
Relaciones con clientes	Las organizaciones deben definir claramente el tipo de relación que prefieren sus clientes: personal, automática, autoservicio, operación única, suscripción, etc. Además, se debe esclarecer el objetivo principal de esta relación: captar nuevos clientes, fidelizar a los clientes u obtener más ingresos de los clientes actuales.
Fuentes de Ingresos	Existen diferentes formas de obtener ingresos: <ul style="list-style-type: none"> • Venta directa • Alquiler • Cuota de servicio o uso • Cuota de suscripción • Concesión de licencias • Comisiones de corretaje
Recursos clave	Hay cuatro tipos de recursos clave: humanos, físicos, intelectuales y económicos.
Actividades clave	Son las acciones más importantes que debe emprender una empresa para que su modelo de negocio funcione.
Asociaciones clave	Es la red que contribuye a la eficacia de un modelo de negocio y se puede ver en asociaciones relacionadas con la producción y compra, pero también en aquellas en las que comparten la misma cartera de clientes para fortalecer todos los negocios involucrados.
Costos	Las empresas necesitan liquidez para crear y proporcionar valor, mantener las relaciones con los clientes y generar ingresos. Es posible hacer un cálculo aproximado de los costos a partir de la definición de recursos clave, actividades clave y socios clave. Aquí un concepto clave es la escalabilidad de la empresa. En términos económicos, si una empresa es escalable, el costo adicional de servir a otro cliente disminuye proporcionalmente, en vez de ser constante o aumentar.

Tabla 5. Módulos del CANVAS

Fuente. Clark Tim et al. (2013)

2.2 Economía Circular

Actualmente, la mayoría de los sistemas de producción son lineales esto quiere decir que son sistemas que abusan del uso de recursos, siguiendo la línea de extraer, producir, consumir y desechar, trayendo como resultado el desabasto de recursos no renovables, así como terribles consecuencias para la salud y el medio ambiente. Este modelo de economía ha sido muy aceptado debido a las ganancias económicas que ha dejado, sin embargo, es un modelo insostenible que a la larga colapsará debido a la carencia de recursos. Es por eso que muchos gobiernos, científicos y la industria buscan alternativas que sean sustentables y económicamente viables, para pasar de una Economía Lineal a una Economía Circular.

El concepto de economía circular existe desde hace décadas y actualmente tiene muchas definiciones, que, si bien son muy similares, cada una apuntará hacia la perspectiva que tenga el autor. Para fines de este trabajo, se consideró optima la siguiente definición: La Fundación Ellen Macarthur (2014), define a la EC como un sistema industrial restaurador o regenerativo por intención y por diseño. Sustituye el concepto de “caducidad” por el de “restauración”, se desplaza hacia el uso de energías renovables, eliminando el uso de químicos tóxicos, que perjudican la reutilización, y el retorno a la biosfera, y busca en su lugar, la eliminación de residuos mediante un diseño optimizado de materiales, productos y sistemas y, dentro de estos, modelos de negocios. Sus principios son tres: (1) preservar y mejorar el capital natural, (2) optimizar los recursos materiales y (3) fomentar la eficacia del sistema (Kirchherr, J., et al., 2017).

La **Figura 14** muestra un esquema con los pasos que se tienen que seguir en un sistema de EC. Se observa como parte externa las materias primas, en vez de extraer de la naturaleza estas materias se busca que mediante la recuperación de los desechos los materiales de valor puedan ser reincorporados a un nuevo ciclo. Dentro del esquema se muestran las actividades que son parte fundamental en un sistema de EC como es el diseño que busca crear productos que tengan ciclos de vida largos y que una vez que llegan a su fin de vida, los materiales puedan ser reincorporados a la cadena de valor. Sigue la producción y relaboración la cual está conectada con la etapa anterior y las siguientes. La etapa de distribución es importante ya que en ella se involucran diferentes actores en los que se deben empezar a alinear con el concepto de economía circular, ya que esto también repercutirá en las siguientes etapas. El consumo, utilización, reutilización y reparación están juntos ya que se espera que una vez que el producto se vuelva un RAEE este pueda ser reutilizado o reparado, es decir que no exista ningún tipo de basura y que los materiales y aparatos no salgan del ciclo. En la recogida y el reciclado se obtiene todo el valor de los

materiales para su reintegración la cual puede ser como materia prima para un producto o para la producción de energía.



Figura 14. Diagrama de economía circular

Fuente. Fundación ECOLEC (s.f.).

Además, a la definición pasada se le puede agregar que es un sistema regenerativo en el que la entrada y el desperdicio de recursos, las emisiones y las fugas de energía se minimizan ralentizando, cerrando y estrechando los bucles de material y energía. Esto se puede lograr a través del diseño, mantenimiento, reparación, reutilización, refabricación, reacondicionamiento y reciclaje duraderos (Islam et al., 2018).

Para poder transitar a un modelo de economía circular se debe invitar a un cambio en los procesos que actualmente se siguen y la forma en la que se ven y entienden las cosas. Propone un cambio sistémico radical que apunta al ecodiseño, la simbiosis industrial, la economía de la funcionalidad, reúso, reparación, remanufactura y valorización. Este enfoque promueve la innovación y la resiliencia a largo plazo y permite el desarrollo de nuevos modelos de negocio (Foro Económico de Economía Circular, s.f.).

Debido a sus características, la industria de los AEE y los RAEE es una de las mejores candidatas para implementar el concepto de Economía Circular, en el que se logre un circuito cerrado capaz de reducir el impacto ambiental y mejorar la recuperación de

materiales. Se debe considerar que el flujo de estos materiales no va a estar condicionado a regresar a ser parte de lo que ya fue, es decir, los materiales deben de incorporarse a la cadena de valor que mejor se adapten. Para esta industria se debe replantear la manera en la que se están haciendo las cosas y valerse de todas las estrategias con las que se cuentan y seguir innovando hasta el punto de lograr que cambie la forma en la que tienen actualmente los modelos de negocio.

Para lograr la transición económica, los formuladores de políticas y el sector privado deben trabajar de la mano. Repensar la aplicación de la sostenibilidad y la inclusión social en la economía circular requiere una innovación y un desarrollo continuos de negocios circulares y modelos organizativos que puedan impulsar un crecimiento económico responsable. Daou et al. (2020), indican que la transición a una economía circular se basa en los siguientes fundamentos:

- 1) Diseño de economía circular: para que los materiales circulen adecuadamente en los ciclos técnicos y biológicos, el diseño del producto (diseño para el desmontaje) y la selección cuidadosa de los materiales (es decir, duraderos, fáciles de clasificar al final de la vida) son esenciales (De Angelis, R. 2018).
- 2) Nuevos modelos de negocio: incorporan características circulares (por ejemplo, acceso sobre propiedad, diseño para el desmontaje, durabilidad del producto) y los convierten en atractivas propuestas de valor necesarias para competir contra productos de producción lineal y de bajo costo (De Angelis, R. 2018).
- 3) Ciclos inversos: los ciclos circulares requieren de la logística inversa para funcionar y, por lo tanto, de sistemas de recolección y tratamiento (por ejemplo, clasificación, almacenamiento) (De Angelis, R. 2018).
- 4) Habilitadores y sistema favorable contrario a los anteriores: estos requieren de la intervención del gobierno, el cual tiene que dar financiamiento, promover la educación para la innovación, etc.

En México, el concepto de economía circular es reciente y todavía más en la industria electrónica. Se deben de tomar diversas acciones que permitan llegar a completar ciclos cerrados en los que no existan residuos y que estos puedan ser aprovechados en nuevos ciclos de producción o como generadores de energía. Es importante que se utilicen todas las herramientas que permitan abordar la situación y con las que se pueda comprender que tanta es la brecha que hay en la circularidad de los procesos.

2.2.1 Marco de las 10 Rs

Como ya se mencionó actualmente los modelos económicos son de tipo lineal, debido a las grandes ventajas económicas que deja, sin embargo, desde hace tiempo se sabe que es un modelo que debe de cambiar o mejor dicho acabar. En los intentos de hacer más sustentable la economía lineal, se introdujo el uso de diferentes marcos que promovían la concientización, entre estos marcos se encuentra el de las 3Rs (Reducir, reutilizar y reciclar), el de las 4Rs (introduce “recuperar” como cuarta R) e incluso uno de 6Rs (al marco de las 3rs, se añaden “redistribuir, “reparar” y “reflexionar”), sin embargo, para el concepto de economía circular no bastan estos marcos, sino que se deben de pensar en un marco con 10RS, que sirvan como estrategias de circularidad (ver **Figura 15**). Con el fin de que se comprenda la importancia de cada una, en la **Tabla 6** se definen. Además, se observa que lo ideal es empezar a aplicar estrategias que sean cada vez más circulares. Aunque el reciclaje es considerado como una alternativa que importante fundamental para el aprovechamiento de los residuos en la cual se puede obtener el valor de los materiales que componen el RAEE, se deben de empezar a buscar opciones en las que no se lleguen a la fase de residuos, por ejemplo, se puede pensar en renovar, reparar, reutilizar, reducir, repensar o rechazar.

El marco de las 10 R's se puede utilizar como una herramienta con la que se mida la circularidad de los procesos que se hacen en los negocios, con la finalidad de identificar si estos se pueden considerar Modelos de Negocio Circulares (MNC), además de identificar que tan cercanos están de cerrar el ciclo en su cadena de suministro.



Figura 15. Estrategias de circularidad

Fuente. Consejo Aragonés de Cámaras. (s.f.).



R0-Rechazar	Hacer que el producto sea redundante abandonando su función u ofreciendo la misma función con un producto radicalmente diferente
R1-Repensar	Intensificar el uso del producto
R2-Reducir	Aumentar la eficiencia en la fabricación o el uso de productos al consumir menos recursos naturales y materiales
R3-Reutilizar	Que otro consumidor reutilice el producto desechado que todavía está en buenas condiciones y cumple su función original
R4-Reparar	Reparación y mantenimiento del producto defectuoso para que pueda ser utilizado con su función original.
R5-Renovar	Restaurar un producto antiguo y actualizarlo
R6-Remanufacturar	Utilizar las partes del producto desechado en un nuevo producto con funciones similares
R7-Reproponer	Utilizar las partes del producto desechado en un nuevo producto con funciones diferentes.
R8-Reciclar	Procesar los materiales para obtener el mismo (grado alto) o menor (grado bajo) de calidad
R-9- Recuperar	Incineración de material con valorización energética

Tabla 6. Definición de estrategias circulares

Fuente. Julian Kirchherr et al. (2017)

2.2.2 Cadena de suministro de ciclo cerrado

Como ya se mencionó, un punto para la transición a una economía circular es mediante ciclos cerrados o circulares que permitan la reincorporación de materiales a un nuevo ciclo de vida, o la extensión de vida útil de aparatos que se han considerado residuos. Una cadena de suministro de ciclo cerrado (CSCC) implica el flujo hacia adelante, esto es, desde las materias primas e información de los proveedores hasta los consumidores, y hacia atrás, desde los consumidores hasta otros fabricantes y proveedores de materias primas (Ferguson et al., 2010).

Las CSCC implican los procesos y flujos que llevan a la reutilización o recuperación de productos y materiales valorizables de los RAEE; incorporan el diseño, control y operación en una cadena de suministros que busca maximizar la creación de valor en el ciclo de vida de un producto, ciclo donde hay recuperación del valor de diferente tipo y volumen en el tiempo. Las CSCC son sistemas dinámicos y que evolucionan para adecuarse a las condiciones del mercado (Abbey et al., 2017).

En la **Figura 16** se muestra un esquema con las actividades, los agentes y los procesos de la CSCC de los RAEE, la cual inicia con la extracción de la materia prima hasta que el cliente

adquiere el AEE, esto, contempla la cadena de suministros directa (CSD). También se consideran las actividades, agentes y procesos de la cadena de suministro inversa (CSI), al juntar ambas cadenas se considera que se cierra el ciclo. Algunas de las actividades de la CSI consideradas son: reutilizar, reciclar o desechar. La CSI está constituida por cinco fases: adquisición, logística inversa, inspección y disposición, renovación y distribución y ventas (Linh Thi Truc Doan et al., 2019). En la **Tabla 7** se hace la descripción de éstas.

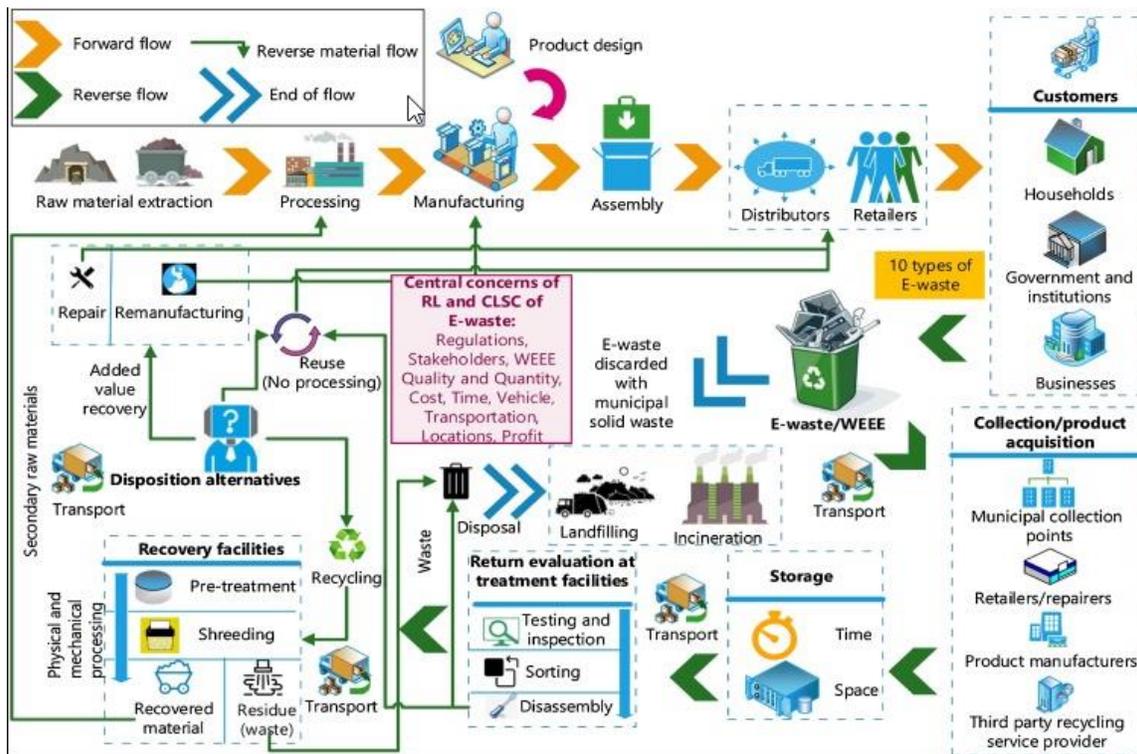


Figura 16. La Cadena de Suministros de Ciclo Cerrado de los RAEE.

Fuente. Islam & Huda (2018).

Adquisición	La adquisición implica la recolecta de los productos devueltos (o los residuos) desde los usuarios para su tratamiento.
Logística inversa	Lo que se recolecta se envía a instalaciones donde se inspeccionan, clasifican y/o disponen. Se incluyen en esta fase: el inventario y la gestión de la distribución.
Inspección y disposición	La inspección y disposición permiten definir la calidad de los materiales recolectados y la estrategia de recuperación de valor.
Renovación	Si hay posibilidad de actualización o reparación se envía a centros de renovación o remanufactura.
Distribución y ventas	Los materiales o componentes renovados o remanufacturados se venden y distribuyen.

Tabla 7. Fases de una Cadena de Suministros Inversa.

Fuente. Linh Thi Truc Doan et al. (2019)

2.3 Empresas (UE) valorizadoras de RAEE, sus prácticas circulares y la conformación de redes logísticas

Como ya se mencionó, la economía circular, así como un ecosistema natural, es un sistema de ciclo cerrado. En este sistema, los residuos son un recurso nuevo que se puede reciclar y reutilizar. Sus prácticas se pueden caracterizar como iniciativas sostenibles que consideran el bienestar ambiental en las actividades económicas, como la gestión de residuos, la reducción del consumo de energía, la contaminación ambiental y el reciclaje. Distintos autores han identificado prácticas circulares que están orientadas a varias dimensiones, entre las que se encuentran el ecodiseño, la recuperación de inversiones, la recirculación, entre otras (Yu, Y., et al., 2022).

Las redes logísticas pueden concebirse como cadenas de suministro de ciclo cerrado, constituidas a la vez por eslabones de cadenas directas y cadenas inversas.

Las operaciones de logística inversa desarrolladas hasta ahora se han enfocado en la reducción de contaminantes y la gestión de residuos. Estas operaciones se refuerzan con prácticas como: la devolución de productos defectuosos o de productos con garantía al final de su vida útil (Safdar, N., et al., 2020).

La Reverse Logistics Association (Reverse Logistics Association., s.f.), respecto de una mercancía, sugiere como procesos constituyentes de la logística inversa los siguientes:

- **Retorno.** Es parte de la atención al cliente. La gestión de garantías y el respaldo a las mercancías a menudo se subcontrata a empresas de transporte. Una mercancía puede moverse más de siete veces a lo largo de la cadena, esto incluye su salida al extranjero y el regreso a los contenedores.
- **Devolución.** En general se realiza al inspeccionar la mercancía derivando en la devolución, la reparación, el remplazo o el retorno a la fábrica. Cada opción involucra agentes y prácticas diferentes.
- **Reparación y/o restauración.** De acuerdo con la naturaleza del producto éstas implican diversidad en equipos de prueba y personal, además de certificaciones y autenticación. Una alternativa a la reparación es la remanufactura.
- **Reempaquetado.** Este puede realizarse durante reparación y lo puede realizar un revendedor. Requiere equipo especializado, en particular para el etiquetado. Los requisitos de embalaje se diferencian dependiendo del procedimiento a seguir, por ejemplo, reventa, o de la manera en que se transporta, por ejemplo, a granel. Para la reventa a menudo se vuelven a equipar agregando así valor.

- **Revender.** Para esto es necesario identificar mercados secundarios y canales para llegar a ellos.
- **Reutilizar.** Si al final de la vida útil de una mercancía su valor de salvamento es significativo conviene reutilizarlo. Para algunas mercancías existen mercados de reuso, es el caso de los teléfonos móviles y otros RAEE.
- **Reciclar.** Este requiere operaciones como la trituración u otros procesos que permitan certificar la destrucción y/o transformación a materias primas para otras cadenas productivas.

Por último, es importante considerar que el flujo de los AEE y los RAEE en las CSCC requieren de operaciones logística de adquisición (OLA) desde el aprovisionamiento hasta la distribución y posteriormente la recuperación de valor (Sánchez-Lara., 2019).

Sánchez Lara (s.f.) indica que las Operaciones Logísticas de Adquisición que forman parte de los procesos de las Cadenas de Suministro Inversa, y están vinculadas con aquellas actividades entre la generación de los residuos y la valorización de estos; incluyendo las siguientes:

- **Recolección.** Operación que implica recuperar los materiales valorizables de los residuos en los lugares donde se generan o almacenan temporalmente para después transportarlos a los centros de acopio.
- **Almacenamiento temporal.** Operación que implica ubicar el residuo o materiales recuperados en recipientes o espacios apropiados de acuerdo con su cantidad y tipo.
- **Manejo de materiales.** Operación que implica los medios materiales y humanos para el movimiento de los residuos dentro del almacén. Incluye: el embalaje, la manipulación, el transporte interno, la carga y la descarga.
- **Transporte.** Operación de desplazamiento de los residuos desde los puntos de almacenamiento temporal a estaciones de transferencia, plantas industriales de tratamiento o relleno sanitario.
- **Transferencia.** Operación de traspaleo de los residuos desde los vehículos recolectores a otros vehículos con mayor capacidad de carga. El traspaleo es posible en una instalación diseñada para tal fin denominada estación de transferencia.

Una vez que se realiza la recolección de los residuos desde la fuente generadora y se resguardan en almacenes temporales, se procede a agregar valor a través de diferentes actividades, con la finalidad de obtener beneficios económicos y medioambientales al reinsertarlos en cadenas productivas

Para representar de manera integral las prácticas de EC en los procesos de toda la cadena de suministro, se clasifican en: toma (“selección”, “almacenamiento de entrada” y “transporte”), fabricación (“diseño ecológico”), distribución (“almacenamiento de salida” y “transporte”), uso (“reparación” y “reutilización”), y recuperar (“reciclar”). Además, que las actividades clave de EC incluyen diseño, adquisición, producción, distribución, uso (“consumo”) y recuperación (“logística inversa”). En resumen, todos los esquemas de clasificación existentes priorizan las actividades de ecodiseño ambiental y reciclaje de residuos como componentes cruciales de la EC (Yu, Y et al., 2022).

Actualmente los MN implementan algunas de estas prácticas, sobre todo en las grandes industrias donde se pueden pensar el replantear los diseños de los aparatos, la producción y la distribución, sin embargo, en las microempresas esto no es muy común. Dentro de las actividades que más hacen son el reciclaje y la reparación, pero no llevan un flujo circular.

2.4 Modelos de negocio circulares.

Un modelo de negocio circular tiene como objetivo vincular todos los flujos de materiales en un círculo de proceso infinito para utilizar los recursos de la manera más eficiente e idealmente sin generar ningún desperdicio. A través de este enfoque circular, se puede impulsar la sostenibilidad de toda una red empresarial. Los MNC son útiles para traducir productos y servicios diseñados para su reutilización en atractivas propuestas de valor. Este tipo de MN, facilita que existan CSCC y de esta manera que se puedan conformar redes logísticas.

Diseñar un modelo de negocio circular para la industria de los RAEE puede traer beneficios para diferentes áreas como son:

- Económicas
 - Reducción de costos tanto en los productos como en los procesos
 - Procesos de producción más rápidos
 - Apertura a nuevas fuentes de ingresos
 - Ventaja competitiva

- Ambientales
 - Eficiencia de los recursos
 - Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero
 - Porcentajes altos de reducción de residuos

- Sociales
 - Buena reputación
 - Empleos

Para redirigir los negocios hacia la economía circular, los modelos de negocio son un elemento clave para agregar valor ecológico y social al producto que ofrecen, lo cual implica un cambio en las decisiones del consumidor y en las prácticas del productor, modificando el diseño, la tecnología, los procesos y eventualmente la infraestructura a lo largo de la cadena de suministro de modo que se asuma una responsabilidad dirigida hacia la reducción de residuos (Graciela Carrillo, 2021).

Para generar modelos de negocio que implementen los principios de economía circular es necesario utilizar herramientas que permitan innovar los modelos ya existentes o crear nuevos. Cada modelo de negocio será diferente y esto se debe principalmente al enfoque que quiera tener cada empresa y a los recursos con los que cuenta.

Los MNC se enfrentan con desafíos que deja la brecha que hay de una economía lineal a una economía circular. Los cambios sociales y políticos que tendrían que existir se muestran como un desafío para la industria y para los gobiernos. Pequeñas acciones pueden empezar a encaminar a empresarios y emprendedores a consolidar su modelo.

Como en todo MN la conducta del consumidor será de gran importancia. Como se mencionó en el capítulo 1, cada vez son más los consumidores de teléfonos celulares que por distintas razones cambian su móvil con frecuencia, lo que hace pensar en la necesidad que hay de hacer modelos de negocio circulares que mediante nuevas prácticas y cultura hagan sostenible el mercado de los teléfonos celulares.

Existen diferentes herramientas que ayudan en el proceso de crear o modificar un MN para que sea circular, esto podría ser el caso del lienzo que se utilice para plasmar la información del negocio. Además, utilizar como herramientas las técnicas PESTEL y FODA, puede ayudar a tener mayor conocimiento de las situaciones internas y externas que pueden afectar o favorecer al MN.

2.4.1 Lienzo Ecocanvas

La herramienta ECOCANVAS es una adaptación del modelo CANVAS que está diseñada como una propuesta de valor circular. El núcleo y principal característica adicional del Ecocanvas es su triple perspectiva otorgada por los tres bloques adicionales, que comprenden tres fuerzas: fuerzas económicas y legales, ambientales y sociales (**Véase Figura 17**). Estas categorías adicionales están interconectadas para respaldar de manera

más amplia la exploración creativa de la creación de valor circular dentro de una empresa. Dado que la incertidumbre representa un tema crítico para que los tomadores de decisiones mantengan sus negocios en el tiempo, a lo largo de los años, las empresas han estado integrando comúnmente las previsiones estratégicas y la planificación de escenarios en sus negocios principales (Daou et al., 2020).

La herramienta permite a las organizaciones repensar la economía circular e incorporar aspectos ambientales y sociales “al crear un enfoque metodológico para ayudar a las empresas a ser más sostenibles ante el nuevo paradigma de la economía circular”.

Es importante conocer las herramientas que pueden ayudar a crear un nuevo MN, sin embargo, para fines de esta tesis, se consideró hacer uso del CANVAS del modelo de negocio tradicional ya que se pueden implementar prácticas circulares dentro de su esquema actual sin la necesidad de hacer grandes cambios que lejos de ayudar al negocio a introducir el concepto y principios de la EC, solo se logre un desbalance innecesario.

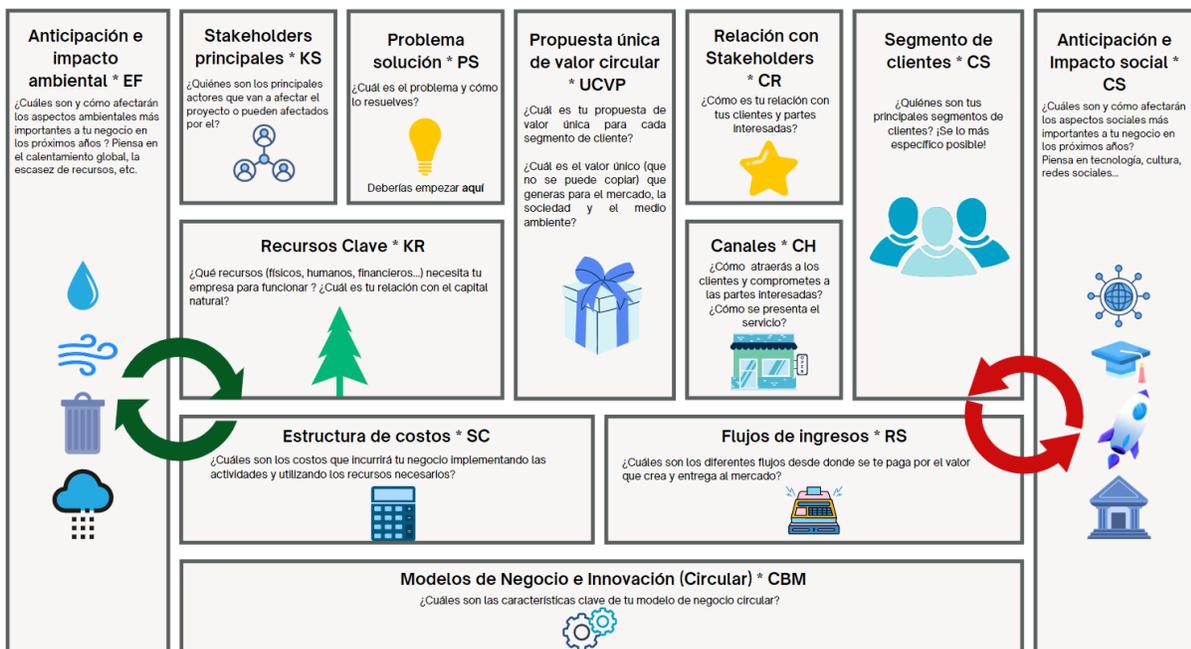


Figura 17. EcoCanvas
Fuente. Daou et al. (2020).

2.5 Los modelos de negocio y la planeación estratégica

La planeación estratégica es un esfuerzo disciplinado para generar decisiones y acciones que conformen la naturaleza y dirección de las actividades de una organización dentro de algunos límites (mandatos). Las decisiones se toman en el marco que conforman los mandatos, la misión, el producto o servicio, los costos, financiamiento y conducción directiva

y organizacional. En planeación estratégica los fines deben traducirse en objetivos de desempeño en el mediano y largo plazo que involucran ampliamente a la organización (Sánchez Lara, B. 2019).

Chiavenato et al. (2017) indican que el propósito de la planeación estratégica es formular estrategias e implementarlas por medio de planes tácticos y operacionales (también llamados programas tácticos), con base en algunas premisas. Además, la planeación estratégica debe:

- 1) **Ser sistemática:** La planeación estratégica tiene mucho que ver con el comportamiento sistémico y holístico y poco con el comportamiento de cada una de sus partes. Implica a la organización como un todo y se refiere a su comportamiento medular.
- 2) **Enfocarse al futuro:** Está orientada a largo plazo.
- 3) **Crear valor:** La planeación estratégica tiene que ver con el comportamiento orientado hacia los objetivos estratégicos. Se debe buscar, crear valor a todos los stakeholders que participan.
- 4) **Ser participativa:** Todos los miembros del sistema deben formular y entender la planeación estratégica. Como existen innumerables caminos que llevan al futuro, la planeación estratégica debe ser un conjunto alineado de decisiones que moldee el camino elegido para llegar a él.
- 5) **Tener continuidad:** La planeación estratégica sirve para articular y preparar la estrategia. Sin embargo, no debe ser algo que solo se haga una vez cada año.
- 6) **Ser implementada:** La implementación de la planeación estratégica es el principal desafío.
- 7) **Ser monitoreada:** El desempeño y los resultados de la planeación estratégica deben ser evaluados. Para ello, la estrategia debe incluir indicadores y datos financieros que permitan el monitoreo constante y permanente de sus consecuencias, a efecto de que sea posible aplicar medidas correctivas que garanticen su éxito.

Por las ventajas que representa, la planeación estratégica ha sido del interés de muchos autores y cada uno de ellos le ha dado una interpretación basada en sus conocimientos del tema y orientada a la investigación que lleva. De la literatura, se rescata que, si bien cada autor tiene su propia definición, existen conceptos que en general consideran deben aplicarse en el proceso de planeación estratégica:

- ✓ Identificar y clarificar los mandatos
- ✓ Formular la misión, los valores y la visión del futuro de la organización

- ✓ Evaluación interna y externa de la organización
- ✓ Definir la o las estrategias

El canvas del modelo de negocio es una herramienta estratégica que sirve para diseñar o rediseñar el MN. Además, se consideran tres criterios de carácter estratégicos que pueden impulsar o rehacer un modelo de negocio en una empresa o en una cadena de suministro:

- Cambiar la forma de hacer las cosas
- Es irreversible
- Implica o involucra la mayor parte de la organización

2.5.1 Análisis PESTEL y FODA

Como ya se mencionó parte de la planeación estratégica y de la creación o innovación de MN es conocer los factores internos y externos que afectan a un negocio. Existen técnicas que pueden ser utilizadas como herramientas para conocer la situación. El análisis PESTEL (Políticas, Económicas, Sociales, Tecnológicas, Ecológicos y Legales) es una técnica que se utiliza para identificar las fuerzas externas a nivel macro que influyen sobre un sistema (Véase **Figura 18**). Se realiza antes del análisis FODA, ya que los resultados de este servirán para identificar con mayor claridad las amenazas y debilidades del otro.



Figura 18. Análisis PESTEL

Fuente. Kokkinos, K., et al., 2023

El análisis FODA, sirve para identificar a través de una lluvia de ideas las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas internas y externas que puede tener el proyecto o la organización en sus modelos de negocio.

Como análisis de la situación interna y externa se tomó como referencia el análisis FODA y PESTEL. Del análisis PESTEL, se tomaron los factores económicos, sociales, tecnológicos, políticos y legales, del análisis FODA, se consideraron todos los factores, tanto internos

como externos, sin embargo, se hizo mayor énfasis en definir las fortalezas y debilidades internas que tienen las unidades económicas dedicadas a la valorización de RAEE. Se plantea de esta manera ya que esos datos se pudieron obtener de la investigación y cuestionarios a las UE.

2.6 Modelos de negocio para RAEE

Los modelos de negocio circulares de RAEE, buscan valorizar los residuos que se generan de todos los aparatos eléctricos y electrónicos para poderlos integrar a diversas cadenas de valor. Los materiales que se obtienen no necesitan entrar a la misma cadena a la cual pertenecían como AEE, ya que muchos de estos materiales funcionan bien en otros aparatos.

El modelo de negocio de las empresas dedicadas a la valorización de RAEE es diferente en cada caso, aunque tienen propiedades que comparten. A continuación, se presentan tres empresas dedicadas a la valorización de RAEE, sus prácticas circulares y las actividades que realizan.

Empresa 1 (RECILEC).

Empresa que ofrece servicios de tratamiento, desinstalación y desmontaje de equipamiento industrial y profesional, recolección y transporte y asesoramiento y consultoría.

Dentro de los atributos que le dan valor a esta empresa se encuentran:

- Es una gestora autorizada en Andalucía de todas las categorías de RAEE
- Tratamiento de los RAEE orientado al cuidado del medio ambiente

El segmento de clientes a quien va dirigido es a empresas y a personas que quieran desechar sus residuos pequeños y domésticos. El tipo de relación que tienen con sus clientes es de asesoramiento personalizado y lo hace mediante formularios, redes sociales o directamente en sus instalaciones.

Sus socios clave son ayuntamientos, empresas recicladoras y fundaciones, además, sus empleados el conocimiento que estos tengan, los equipos de trabajo y la materia prima son parte de sus recursos clave. En la **Figura 19** se muestra el canvas del modelo de negocio de esta empresa.

CANVAS DEL MODELO DE NEGOCIO



Figura 19. Canvas del Modelo de Negocio de la Empresa 1

Fuente. Elaboración propia con datos de RECILEC (s.f.)

Empresa 2 (CLEVERCEL).

Es una empresa dedicada a la venta de celulares reacondicionados originales y verificados. Ofrece precios más bajos y financiamiento para adquirir equipos. Estos equipos se dividen seminuevo (marcas físicas muy poco visibles) y outlet (marcas físicas más visibles, pero equipos que funcionan bien)

Además, ofrecen las siguientes ventajas:

- Garantía de 12 meses
- Entregas en todo México
- Pagos a 12 meses sin intereses

El segmento de clientes a quien va dirigido es a adultos, adultos jóvenes y personas que requieran de un equipo funcional y económico. Sus canales de comunicación son mediante tienda en línea, redes sociales. En la **Figura 20** se muestra el canvas del modelo de negocio en donde se presenta con mayor detalle las características de este negocio.

CANVAS DEL MODELO DE NEGOCIO

Empresa 2



Figura 20. Canvas del Modelo de Negocio de la Empresa 2

Fuente. Elaboración propia con datos de CLEVERCEL (s.f.)

Empresa 3 (MAXMOVIL)

Empresa española dedicada a la venta de celulares y accesorio nuevos y reacondicionados por la compañía o por el fabricante del teléfono. Además, ofrecen las siguientes ventajas:

- Garantía por 12 meses
- Cuentan con accesorios homologados y 100% compatibles con los equipos

El segmento de clientes a quien va dirigido es a adultos, adultos jóvenes y personas que requieren de un equipo funcional moderno y económico. Ofrecen un asesoramiento personalizado y sus canales de comunicación son por tienda en línea, tienda física y redes sociales. Sus socios clave son fabricantes de celulares y distribuidores. En la **Figura 21** muestra el canvas del modelo de negocio de la empresa.

CANVAS DEL MODELO DE NEGOCIO

Empresa 3

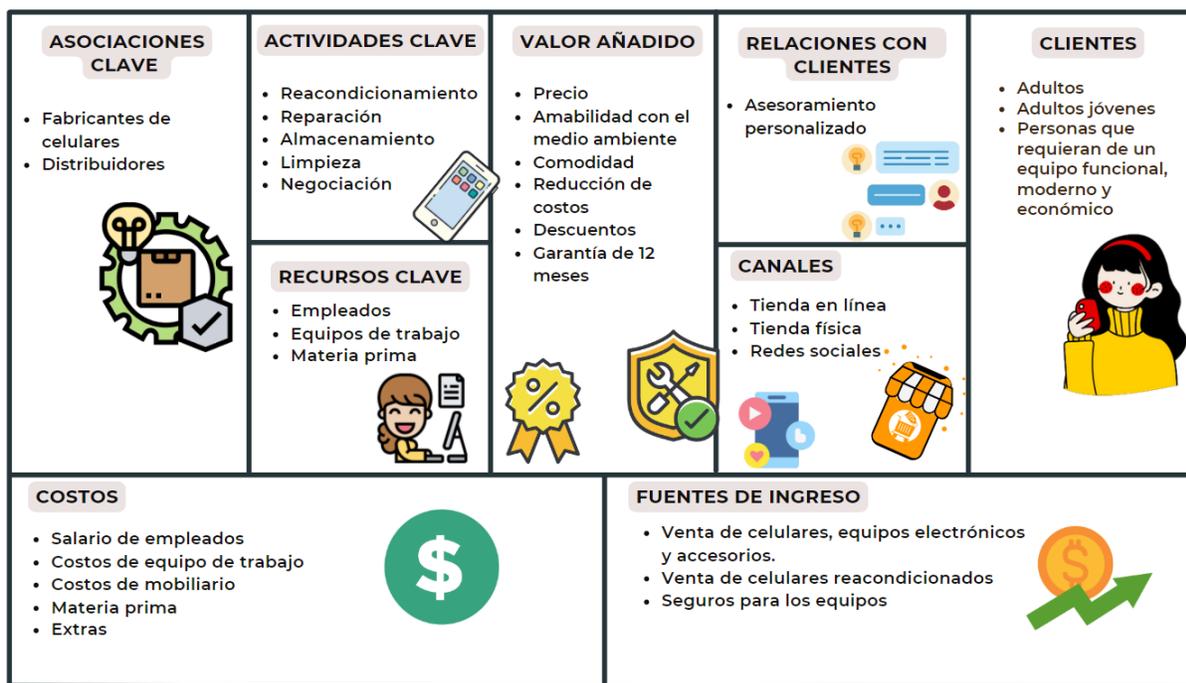


Figura 21. Canvas del Modelo de Negocio de la Empresa 3

Fuente. Elaboración propia con datos de MAXMOVIL (s.f.)

2.7 Proceso de innovación del modelo de negocios.

El mundo siempre está en constante cambio, por lo que es necesario un cambio en los MN que ya no estén satisfaciendo las necesidades que se tienen actualmente. Esto no quiere decir que una empresa que ha dejado de cumplir con las necesidades actuales tenga que desaparecer, solo tiene que pensar en crear estrategias que le permitan innovar su MN. La innovación del modelo de negocio es un concepto holístico que se utiliza para tratar cuestiones relacionadas con la búsqueda de nuevas lógicas de negocio y nuevas formas para que una empresa cree y capture valor para sus grupos de interés. Se refiere a encontrar nuevas formas de generar ganancias y definir propuestas de valor para clientes, socios y proveedores (Andreini, D., et al., 2017). Se trata de ir hacia una evolución del negocio actual, basado en las nuevas tecnologías, políticas y necesidades que hay en el mercado. En el proceso de innovación se pueden utilizar diferentes herramientas y estrategias que ayuden a potencializar cada uno de los bloques que componen el lienzo del modelo de negocio. En la **Tabla 8** se observan las cuatro etapas por las que atraviesa un proceso de innovación para un MN. Estas etapas permiten a quien las utiliza conocer a

mayor detalle el modelo de negocio actual para poder identificar cuáles son las fortalezas y debilidades que tiene y de esta manera, con ayuda de algunos patrones, se pueda reestructurar e innovar el MN. Las primeras tres etapas corresponden al diseño del modelo y la última etapa a la implementación de este.

Etapa	Descripción
Diagnóstico	<p>En esta etapa es necesario definir el modelo de negocio actual. Implica, no sólo la definición del modelo de negocio, sino que también requiere identificar a los actores clave del mercado y las tendencias actuales.</p> <p>Lo anterior permite determinar dónde estamos jugando, quiénes son los competidores clave y cuáles pueden ser las oportunidades que presenta el mercado.</p>
Ideación	<p>Para esta segunda etapa, se utilizan los 55 patrones propuestos por Gassman. El método de innovación se basa en la recombinación e imitación creativa, con el propósito de romper la caja y crear nuevas ideas.</p>
Integración	<p>Después de haber identificado cuáles dimensiones y cómo serán modificadas, procedemos a realizar una reestructuración interna y externa del modelo operativo, es decir, crear métodos, procesos y actividades novedosos que permitan la operación del nuevo modelo de negocio.</p>
Implementación	<p>Una vez definido el nuevo modelo operativo, procederemos con su incorporación. Con base en la iteración y pivoteo podemos refinar la operatividad del modelo de negocio, apoyándonos en las etapas de diseñar, prototipar y evaluar, igualmente, utilizando el modelo lean startup para su refinación.</p>

Tabla 8. Proceso de innovación
Fuente. Flores Choperena, Osca E. (2021).

2.7.1 Triángulo de la innovación

Una herramienta que se utiliza para dimensionar las características del MN actual y crear nuevas formas de negocio es el triángulo de la innovación, el cual consta de cuatro dimensiones y sirve para definir y describir cómo el proyecto genera y entrega valor para el cliente, a su vez, el cómo se capta de valor de este (Flores Choperena, 2021). En general esta herramienta se utiliza en las cuatro etapas del proceso de innovación. En el diagnóstico, ayuda a conocer el tipo de MN que se tiene actualmente. Permite concentrar toda la información que se recaba sobre las características de los negocios para entender su funcionamiento, que ofrece al cliente, cual es el tipo de cliente al que va dirigido, además, a los jugadores clave y la situación del entorno. Según Gassmann et al. (2014), durante la fase

de ideación se utilizan 55 patrones que sirven como base para generar cambios en el MN actual o crear nuevos modelos (**Véase Figura 22**). Estos arquetipos tienen cualidades particulares y están enfocados en contribuir en distintos tipos de modelo, es por lo que se tienen que comprender para utilizarlos y favorecer al MN. Una vez que se selecciona el arquetipo que más valor podrían agregar a la innovación del modelo actual, se identifican las dimensiones que tienen que ser modificadas, estas pueden ser una o todas. Es recomendable que se juegue con varias combinaciones de arquetipos para fortalecer las mejoras que se plantean con el primer arquetipo desarrollado. Después de combinar los arquetipos se pasa a la etapa de integración, en donde se unifican todas propuestas planteadas en la etapa anterior. En la etapa de implementación, ya se tiene construido el nuevo modelo de negocio y se tiene un nuevo triángulo de la innovación el cual puede ser modificado en cada prueba que tenga el MN para determinar su factibilidad.

 1. Añadir	 2. Asociación	 3. AIKIDO	 4. Subasta	 5. Trueque	 6. Cajero automático	 7. Venta cruzada	 8. Crowdfunding	 9. Outsourcing	 10. Lealtad del cliente	 11. Digitalización
 12. Venta directa	 13. Comercio electrónico	 14. Vendiendo experiencia	 15. Tarifa plana	 16. Fraccionar la propiedad	 17. Franquicia	 18. Freemium	 19. De empujar a tirar	 20. Disponibilidad garantizada	 21. Ingresos ocultos	 22. Haciendo marca a un ingrediente
 23. Integrador	 24. Jugador por capas	 25. Aprovechar los datos del cliente	 26. Licenciamiento	 27. Bloqueando la salida	 28. De gota en gota se llena el vaso	 29. Haz más de eso	 30. Personalización masiva	 31. Sin lujos	 32. Negocio abierto	 33. Fuente abierta
 34. Orquestador	 35. Pago por uso	 36. Paga lo que quieras	 37. De igual a igual	 38. Contratación basada en desempeño	 39. Navaja y cuchilla	 40. Rentar en lugar de comprar	 41. Reparto de ingresos	 42. Ingeniería inversa	 43. Innovación inversa	 44. Robin Hood
 45. Autoservicio	 46. Comprar en la tienda	 47. Proveedor de soluciones	 48. Suscripción	 49. Supermercado	 50. Apunta a los pobres	 51. De basura a dinero	 52. Mercado de dos vías	 53. Lujo supremo	 54. Diseño del usuario	 55. Etiqueta blanca

Figura 22. Arquetipos para la innovación

Fuente. Gassmann et al., 2014

En la **Figura 23** se observa la estructura que tiene el Triángulo de la innovación, el cual se compone cuatro círculos, tres de ellos en cada uno de sus vértices y uno en el centro, estos responden a cuatro preguntas que sirven para conocer mejor las características que tiene el modelo. Además, estos círculos se identifican con cuatro colores para que se reconozcan mejor. (**Véase Tabla 9**)

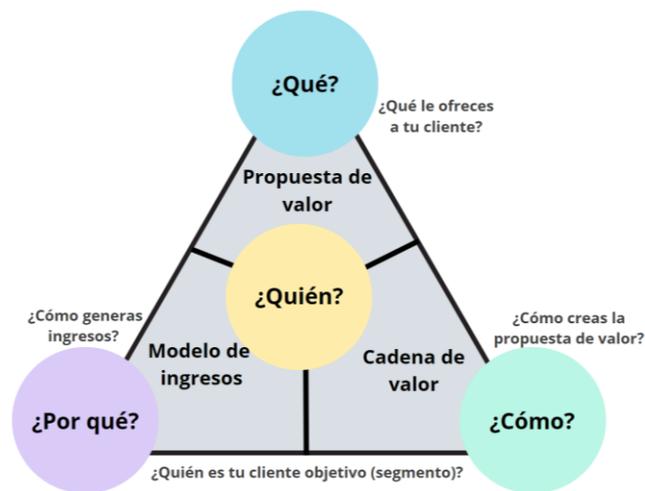


Figura 23. Triángulo de la innovación

Fuente. Gassmann et al., 2014

Cliente	¿Quiénes son nuestros clientes objetivo? Es importante comprender con precisión qué segmentos de clientes son relevantes para nosotros, cuáles se abordarán y cuales con su modelo de negocio. Los clientes están en el corazón de cada modelo de negocio ¡siempre! No hay excepciones.
Propuesta de valor	¿Qué ofrecemos a los clientes? Esta segunda dimensión define las ofertas de su empresa (productos y servicios) además de que describe cómo atiende las necesidades de sus clientes objetivo.
Cadena de valor	¿Cómo producimos nuestras ofertas? Para poner en práctica nuestra propuesta de valor, se deben llevar a cabo varios procesos y actividades. Estos procesos y actividades, junto con los recursos, capacidades relacionadas y su coordinación a lo largo de la cadena de valor de la empresa, constituyen la tercera dimensión del diseño de modelo de negocio
Mecanismo de ganancias	¿Por qué genera ganancias? Esta cuarta dimensión, que incluye aspectos cómo las estructuras de costos y los mecanismos de generación de ingresos, aclara qué es lo que hace que un modelo de negocio sea financieramente viable. Proporciona una respuesta a la pregunta central que toda empresa debe hacerse: ¿cómo producimos valor para nuestros accionistas y partes interesadas? O más simple: ¿por qué el modelo de negocio funciona comercialmente?

Tabla 9. Segmentos del Triángulo de la Innovación

Fuente. Gassmann et al., 2014

Para fines de esta tesis, se consideraron adecuados ocho arquetipos. En la **Figura 24**, se observa el triángulo de la innovación junto con la descripción del arquetipo añadir, en el cual se modifican el ¿Qué? y ¿Por qué? La **Figura 25**, muestra las características y las dimensiones que se modifican con el arquetipo aikido, que al igual que en el de “añadir” se debe modificar el ¿Qué? y ¿Por qué?, lo mismo se puede observar en la **Figura 26**, que

corresponde al arquetipo lealtad al cliente. En la **Figura 27**, se muestran las características de comercio electrónico, el cual se modifican las dimensiones del ¿Qué?, ¿Cómo? y ¿Por qué?, estas mismas dimensiones deben de ser modificadas en el arquetipo de vendiendo la experiencia (Véase **Figura 28**). En la **Figura 29**, se muestra el arquetipo sin lujos y el la **Figura 30**, se presenta el arquetipo apunta a los pobres; en estos dos arquetipos se modifican las cuatro dimensiones del triángulo, es decir cambia por completo el ¿Qué?, ¿Cómo?, ¿Quién? y ¿Por qué?, por último, en la **Figura 31**, se observa el arquetipo de basura a dinero en el cual se presenta la descripción y las dimensiones que deben de ser modificadas, para este caso se deben modificar el ¿Qué?, ¿Por qué? y ¿Cómo?

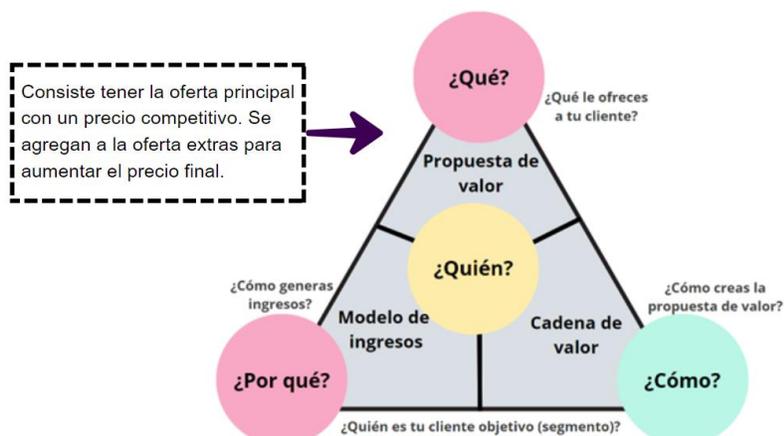


Figura 24. Triángulo de la innovación del arquetipo **Añadir**

Fuente. Gassmann et al., 2014

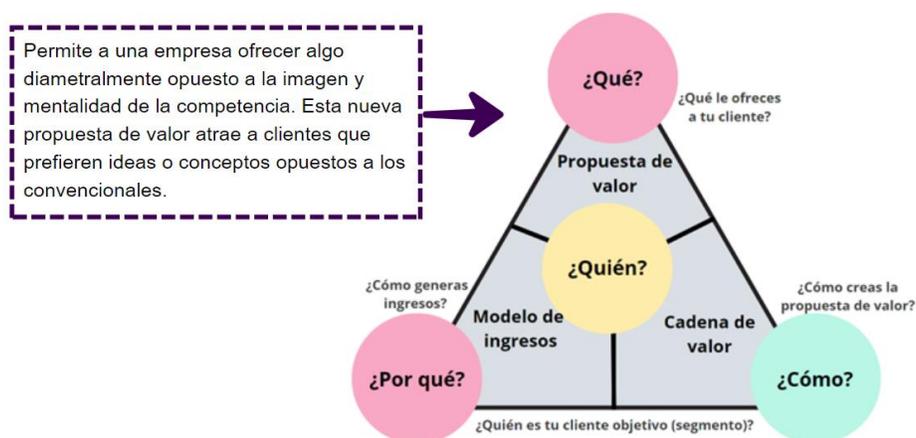


Figura 25. Triángulo de la innovación del arquetipo **Aikido**

Fuente. Gassmann et al., 2014

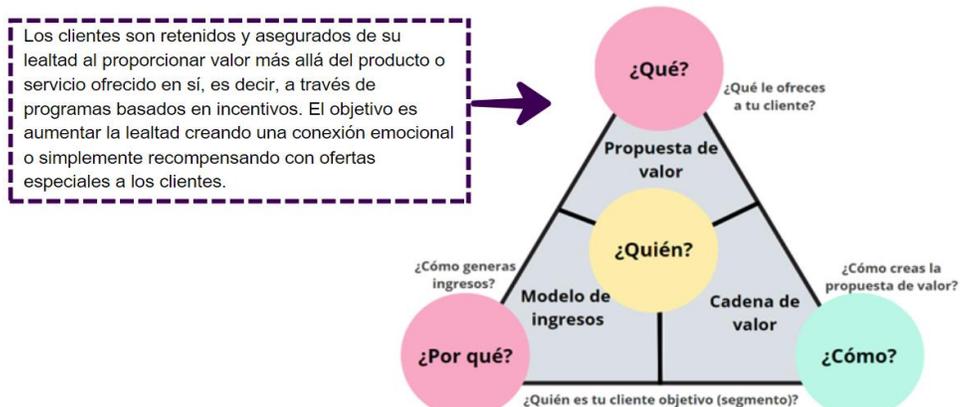


Figura 26. Triángulo de la innovación del arquetipo Lealtad del cliente

Fuente. Gassmann et al., 2014

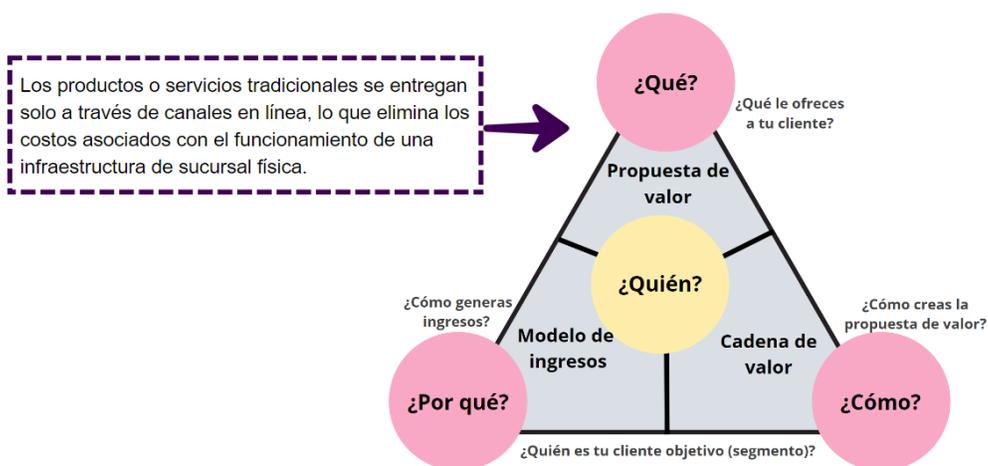


Figura 27. Triángulo de la innovación del arquetipo Comercio electrónico

Fuente. Gassmann et al., 2014

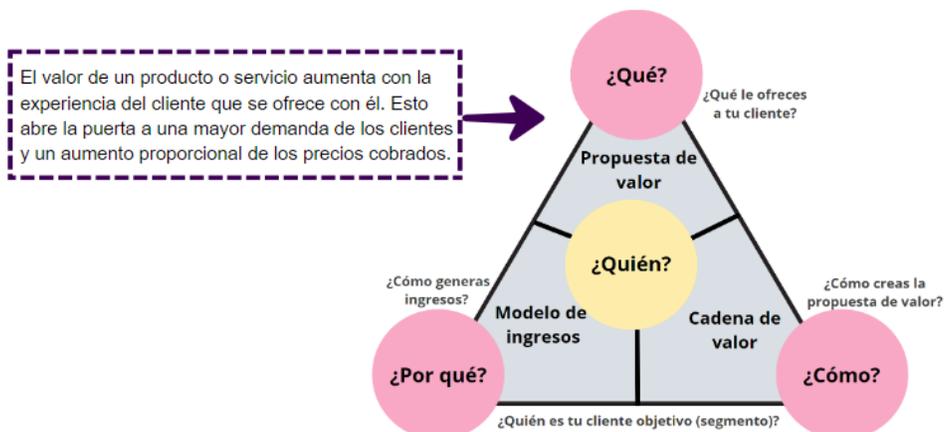


Figura 28. Triángulo de la innovación del arquetipo Vendiendo experiencia

Fuente. Gassmann et al., 2014

La creación de valor se centra en lo que es necesario para ofrecer la propuesta de valor central de un producto o servicio, normalmente lo más básico posible. Los ahorros de costos se comparten con el cliente, lo que generalmente resulta en una base de clientes con menor poder adquisitivo o voluntad de compra.

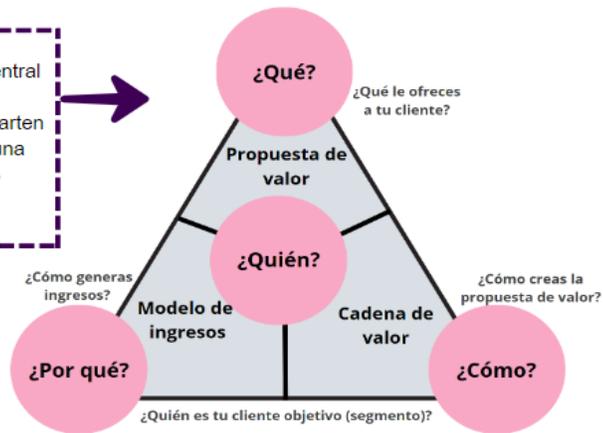


Figura 29. Triángulo de la innovación del arquetipo Sin lujos

Fuente. Gassmann et al., 2014

La oferta de producto o servicio no se dirige al cliente "premium", sino al cliente posicionado en la base de la pirámide. Los clientes con menor poder adquisitivo se benefician con productos asequibles. La empresa genera pequeñas ganancias con cada producto vendido, pero se beneficia de los números de ventas más altos que generalmente vienen con la escala de la base clientes

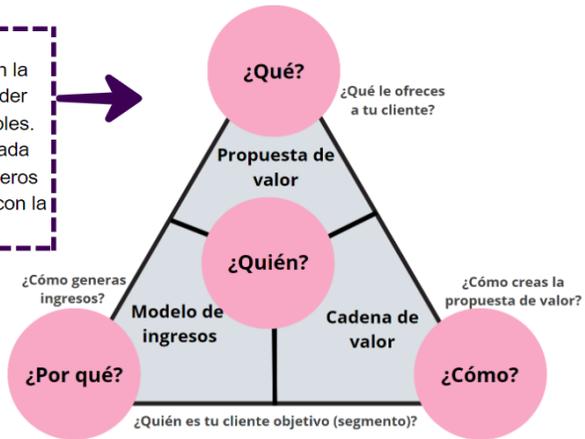


Figura 30. Triángulo de la innovación del arquetipo Apunta a los pobres

Fuente. Gassmann et al., 2014

Los productos usados se recolectan y venden en otras partes del mundo o se transforman en productos nuevos. El esquema de ganancias se basa esencialmente en precios de compra bajos o nulos. Los costes de recursos para la empresa se eliminan prácticamente, mientras que se facilita la eliminación de residuos del proveedor o se reducen costos asociados. Esto también aborda los potenciales ideales de conciencia ambiental de los clientes.

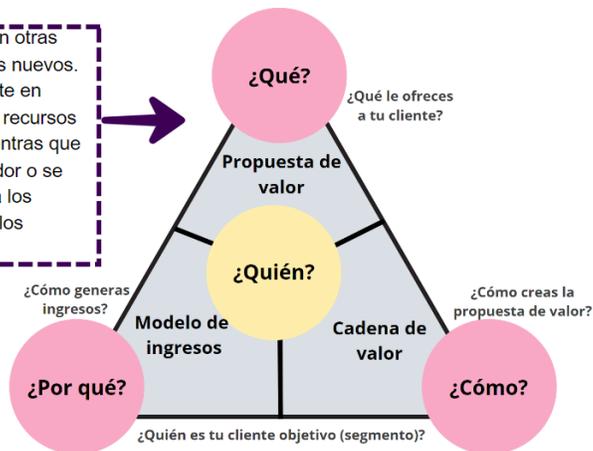


Figura 31. Triángulo de la innovación del arquetipo De basura a dinero

Fuente. Gassmann et al., 2014

2.8 Estrategia de investigación

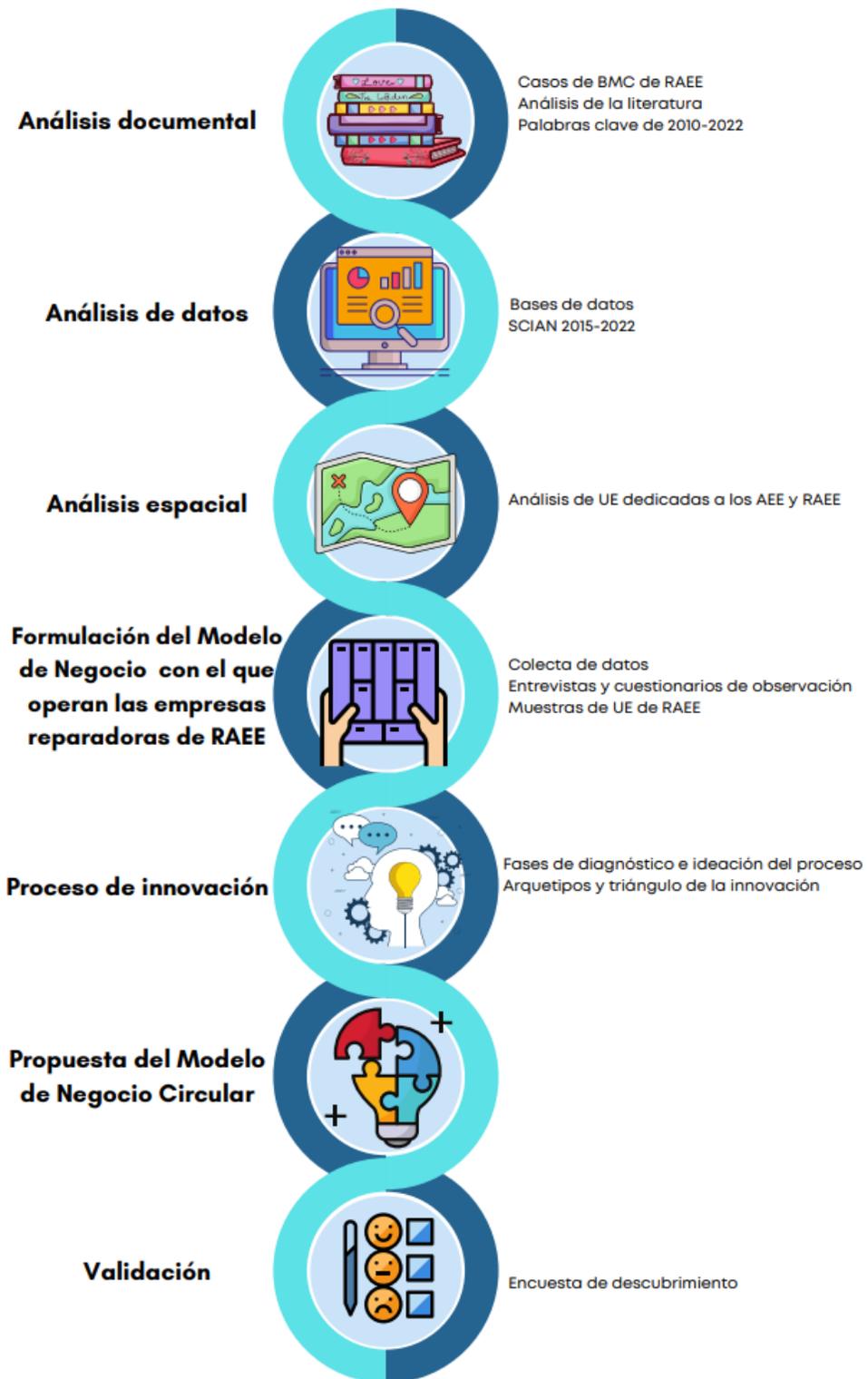


Figura 32. Estrategia de investigación

2.8.1 Análisis documental

El análisis documental (AD) se define como el conjunto de operaciones (unas de orden intelectual y otras mecánicas y repetitivas) que afectan al contenido y a la forma de los documentos originales, reelaborándolos y transformándolos en otros de carácter instrumental o secundarios, que faciliten al usuario la identificación precisa, la recuperación y la difusión de aquellos. No obstante, esta transformación es el resultado no sólo de una fase de análisis, previa e imprescindible, sino también de un proceso de síntesis, que conduce a la conformación definitiva del documento secundario (Clausó, 1993).

El análisis documental no adolece de métodos, estrategias o lineamientos propios para su ejecución. No obstante, el elemento peculiar de este análisis radica en su finalidad, que consiste en simplificar el contenido de los documentos y representarlos de una forma diferente a la original, tomando solo sus elementos esenciales o referenciales.

Para esta investigación, se hizo una revisión de la literatura en la Biblioteca digital de la UNAM (BIDI UNAM), la cual alberga diversas bases de datos, como SCOPUS, Springer, ScienceDirect. Para la búsqueda se identificaron algunas palabras clave que podían ser de utilidad para la investigación, como: Circular economy, Economía circular, E-waste, RAEE, Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, Modelo de negocios, entre otras, durante el periodo de 2010 a 2022. Estas palabras dieron como resultado libros, revistas y artículos, los cuales contenían teoría y estudios de caso.

La revisión de la literatura sirvió para generar conceptos más amplios y concretos sobre el tema, conocer que es lo que se está haciendo en la materia y ver cuáles son las propuestas que existen. Lo datos que existen sobre los procesos de valorización de RAEE y como han evolucionado los modelos de negocio circulares.

2.8.2 Teoría Fundamentada

El diseño del MN se basa en la teoría fundamentada ya que es un método utilizado en la investigación cualitativa, que implica el desarrollo de la teoría en la investigación. La teoría fundamentada comienza con la recopilación de datos en lugar de la formulación de hipótesis (Schroth, 2022). Estos datos servirán para conocer mejor las inquietudes que existen en el medio en el que se aplica y para poder resolver preguntas que se van generando. Mientras que la investigación tradicional de estudios sociales se centra en la validez de los hallazgos, la teoría fundamentada se juzga por su ajuste, relevancia, viabilidad y modificabilidad. El ajuste implica qué tan bien los conceptos encajan con los incidentes que representan, y los incidentes se comparan constantemente con los conceptos para garantizar esto. La relevancia examina las preocupaciones reales de los participantes, y cuando está bien hecha

capta la atención de los lectores. La viabilidad existe cuando una teoría explica cómo se está resolviendo el problema en una variedad de entornos. La modificabilidad permite que una teoría sea alterada siempre y cuando se comparen nuevos datos relevantes con los datos existentes. Una teoría fundamentada no es válida ni inválida, sino que tiene más o menos ajuste, relevancia, viabilidad y modificabilidad (Schroth, 2022).

2.8.3 Análisis de datos

El análisis de datos es un proceso iterativo de manipulación e interpretación de números para extraer el significado de ellos, responder preguntas de investigación, probar hipótesis o explorar significados que se pueden derivar inductivamente de los datos. Esta exploración es el primer paso de cualquier análisis de datos: en donde se ejecutan algunas manipulaciones y pruebas básicas para resumir los datos en estadísticas significativas, como la media y desviación estándar; visualizar los datos; y como una fuente para mejorar la comprensión que se tiene sobre la información de esos datos (Mertens et al., 2017).

Una vez que se obtuvieron los datos y para comprender mejor el comportamiento de estos, en esta tesis se utilizó la visualización de datos como una herramienta para comprender e interpretar mejor los resultados, la cual pretende construir un conjunto gráfico y sintético que permita entender, establecer agrupaciones, relaciones o tendencias estadísticas y facilite la obtención de conclusiones para su interpretación. El uso de técnicas de visualización de datos se ha diversificado en áreas como cartografía, demografía, ciencias de los datos; sin embargo, su desarrollo destaca en la cartografía en línea, cuya combinación con técnicas como minería de datos, web semántica, datos abiertos enlazados, y otras técnicas avanzadas de visualización, permiten acceder y poner en valor el conocimiento científico.

2.8.3.2 Fuentes de datos empleadas

DENUE

Se utilizó la base de datos del Directorio Nacional de Unidades Económicas (DENUE), el cual proporciona información de las unidades económicas cuyas actividades están ordenadas con base en el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN). Se actualiza cada cinco años y parcialmente cada año con la actualización del RENEM (Registro Estadístico de Negocios de México).

En la **Tabla 10** se observan los códigos que se identificaron en el SCIAN de todas las actividades económicas pertenecientes a un eslabón de la cadena de suministro inversa o directa, se procedió a obtener sus bases de datos del DENUE, para poder hacer su análisis espacial de las unidades económicas.

Código	Identificación	Código	Identificación
334110	Fabricación de computadoras y equipo periférico	435411	Comercio al por mayor de mobiliario, equipo, y accesorios de cómputo
334210	Fabricación de equipo telefónico	462210	Comercio al por menor en tiendas departamentales
334220	Fabricación de equipo de transmisión y recepción de señales de radio y televisión, y equipo de comunicación inalámbrico	466112	Comercio al por menor de electrodomésticos menores y aparatos de línea blanca
334290	Fabricación de otros equipos de comunicación	466211	Comercio al por menor de mobiliario, equipo y accesorios de computo
334310	Fabricación de equipo de audio y de video	466212	Comercio al por menor de teléfonos y otros aparatos de comunicación.
334410	Fabricación de componentes electrónicos	466410	Comercio al por menor de artículos usados
334511	Fabricación de relojes	532210	Alquiler de aparatos eléctricos y electrónicos para el hogar y personales
334519	Fabricación de otros instrumentos de medición, control, navegación, y equipo médico electrónico	532420	Alquiler de equipo de cómputo y de otras máquinas y mobiliario de oficina.
335120	Fabricación de lámparas ornamentales	562221	Tratamiento y disposición final de residuos no peligrosos por el sector privado
335210	Fabricación de enseres electrodomésticos menores	562222	Tratamiento y disposición final de residuos no peligrosos por el sector público
335220	Fabricación de aparatos de línea blanca	562921	Recuperación de residuos por el sector privado
336320	Fabricación de equipo eléctrico y electrónico y sus partes para vehículos automotores	562922	Recuperación de residuos por el sector público
433510	Comercio al por mayor de electrodomésticos menores y aparatos de línea blanca	811211	Reparación y mantenimiento de equipo electrónico de uso doméstico
435311	Comercio al por mayor de equipo de telecomunicaciones, fotografía y cinematografía	811219	Reparación y mantenimiento de otro equipo electrónico y de equipo de precisión

Tabla 10. Empresas cuya actividad económica está relacionada con los RAEE

Fuente. INEGI. (2018).

2.8.4 Análisis espacial empleando Sistemas de Información Geográfica

Los datos geográficos o espaciales juegan un papel vital en muchas partes de la vida diaria. Ya sea directamente, como en el uso de un mapa para navegar por una ciudad, o indirectamente donde usamos recursos como el agua, dependemos de la información sobre donde se encuentran las cosas y sobre los atributos de esas cosas plantas (Fotheringham et al., 2009). Los ejemplos de tipos comunes de datos espaciales incluyen datos de censos, conteos de tráfico, registros de pacientes, la incidencia de una enfermedad, la ubicación de instalaciones y servicios, las direcciones de los alumnos de la escuela, las bases de datos de clientes y la distribución de especies de animales.

El análisis espacial es una colección de métodos, estadísticas y técnicas que integran conceptos como ubicación, área, distancia e interacción, para analizar, investigar y explicar en un contexto geográfico patrones, acciones o comportamientos entre observaciones referenciadas espacialmente que surgen como resultado de un proceso que opera en el espacio. Durante este proceso se convierten datos sin procesar en información útil. La principal ventaja del análisis espacial es la capacidad de revelar patrones en los datos que no se habían definido ni observado previamente (Grekousis, 2020).

El análisis espacial se apoya de diferentes herramientas que pueden extraer la información de los datos espaciales para lograr el objetivo de hacerla útil. Los sistemas de información geográfica (SIG) juegan un papel fundamental para este marco. Un SIG es un conjunto de herramientas que permiten el análisis de la realidad al hacer la relación de ubicación (información espacial determinada por sus coordenadas) y descripción (información tabular o base de datos) de elementos o fenómenos espaciales en continua transformación (Reséndiz, 2022). Un SIG integra tecnología informática, personas e información geográfica, cuya principal función es capturar, analizar, almacenar, editar y representar datos georreferenciados (Olaya, 2012). Como resultado un SIG puede realizar consultas geográficas, ayudar a tomar mejores decisiones con base en la información que se obtiene, entre otras. Además, los SIG se pueden utilizar en diferentes áreas como son la arqueología, el Marketing, la logística, para medir el impacto ambiental, etc.

Para el análisis espacial de los datos se utilizó un SIG el cual sirvió para la construcción de los mapas, de esta manera se entiende mejor la distribución de las UE en cada alcaldía de la CDMX y así se pueden identificar factores que pudieran incidir en el comportamiento que estas unidades presenten a lo largo de las cadenas de suministro.

2.8.4.1 Construcción de mapas

Para la construcción de mapas se identificaron las unidades económicas que existen en la República Mexicana que por las actividades que realizan, son consideradas eslabones de la cadena de suministro directa (comercio, fabricación y alquiler) y de la cadena de suministro inversa (reparación, recuperación, tratamiento y disposición final) de los RAEE. Esto con la finalidad de conocer el comportamiento que existe de estas UE en cada Estado. Después se aplicó un filtro para descartar los Estados que cuenten con muy pocas UE, ya que para propósitos de esta investigación se necesitaba un estado que estuviera más involucrado para poder aplicar el concepto de EC.

Después de estos filtros, se concluyó que la CDMX es el Estado en el que se estudiarían las UE eslabones de la cadena de suministro inversa y directa de los RAEE. Esto se decidió por ser una de las entidades que tiene mayor número de unidades económicas dedicadas a la valorización de RAEE, además, tiene conexiones con otros Estados, las cuales facilitan el comercio, como es el Estado de México. Para la construcción de los mapas se utilizó el software QGIS versión 3.22.4, en el cual se pudo hacer la descarga de los datos. Dentro del software se trabajaron gráficas que permitieron comprender mejor los datos que se encontraron en los mapas.

2.8.5 Formulación del modelo de negocio con el que operan las empresas reparadoras de RAEE

2.8.5.1 Colecta de datos

Una vez que se delimitó el área de estudio, se hizo una colecta de datos con el fin de identificar las actividades que realizan las unidades económicas que se están estudiando y sus prácticas circulares. Esto se realizó haciendo visitas y cuestionarios en algunas de ellas. Se utilizaron herramientas como el check list, el cual es un tipo de cuestionario rápido y preciso, que se utilizó en aquellas unidades económicas en las cuales se hicieron visitas rápidas de una sola vez y en las cuales la observación era muy importante para poder recabar la mayor cantidad de información posible. En general, estas visitas sirvieron para identificar mediante la observación las actividades relacionadas con AEE y RAEE que se hacen en estas UE y así determinar qué tan circular es el negocio. La segunda herramienta fue un cuestionario que se realizó a los dueños o encargados del negocio y contenía, además del check list preguntas abiertas. Estas últimas se hicieron con la finalidad de corroborar las respuestas que se obtuvieron mediante la observación.

2.8.5.2 Cuestionarios sobre la circularidad en las empresas.

El instrumento utilizado se compone de dos formatos, esto con el objetivo de tener respuestas respecto al negocio aun cuando no se pudieran hacer las entrevistas directamente a los dueños o encargados de los negocios, es decir mediante la observación. El primer formato estuvo enfocado en las características que tienen los negocios y como es que nace la idea de hacer reparaciones, si esta fue una actividad que se dio desde un principio o fue una actividad que surgió por las necesidades que el mercado empezaba a demandar. También se buscó identificar el perfil que tienen los dueños, encargados y trabajadores, esto con la finalidad de conocer entre otras cosas, la capacidad que tienen estos actores para valorizar adecuadamente estos residuos. Además, se hicieron preguntas orientadas a conocer la forma en la que opera el negocio, el tipo de AEE que manejan, si es conocido el concepto de economía circular, qué tanto creció su negocio cuando empezaron a realizar reparaciones, etc. La segunda etapa esta más enfocada a la observación y al análisis que se hace después o durante la entrevista para determinar cuáles son aquellas prácticas circulares que hace la empresa, si tiene operaciones logísticas de adquisición o de transporte, esto con la finalidad de determinar qué tan cerca estaba de tener un modelo de negocio circular. (**Véase Anexo 1**)

2.8.6 Diseño del Modelo de Negocio

El diseño del MN, se basó en el proceso de innovación que se describió en la **sección 2.7**. Se refiere innovación a un producto, servicio o proceso sustancial que constituye el núcleo de un modelo de negocio recientemente inventado o sustancialmente refinado o propuesta de valor. Las innovaciones pueden ser disruptivas y radicales o incrementales. Mientras que las innovaciones incrementales siguen la lógica de un modelo comercial o propuesta de valor existente, las innovaciones radicales o disruptivas cambian la lógica y las reglas de un modelo comercial o propuesta de valor existente o reemplazan todo el modelo comercial y la propuesta de valor en sí mismos (Glauner, 2018).

2.8.7 Validación

En el modelo de negocio se presentan hipótesis que tienen que ser validadas o invalidadas. La validación tiene como objetivo reducir riesgos que puedan existir y potenciar el éxito que puede tener. Lo mismo busca la Metodología Lean Startup, la cual es un método comprobado que puede ayudar a las empresas que recién están comenzando o ayudar a los productos para que puedan acortar el ciclo de desarrollo mediante la adaptación de la experimentación impulsada por hipótesis empresariales, el aprendizaje validado y los lanzamientos iterativos de productos (James Edge, 2020). Existen prácticas que sirven para la recolección de datos que permitan innovar el producto o servicio. Además, al utilizar esta

metodología se pueden evitar que se generen residuos en la fabricación de los productos o servicios. Tomando en cuenta lo anterior, se consideró importante para la parte de validación de esta tesis, utilizar la práctica de Sal del edificio, en la cual se pueden probar hipótesis directamente con usuarios, compradores, expertos de la industria y socios. Esto ayuda a los fundadores a aprender de primera mano si sus suposiciones de valor y producto se adoptarán fácilmente o encontrarán resistencia (Aagaard, A. 2019). Esta práctica se utilizó con expertos en MN y RAEE para conocer qué tan viables son las propuestas que se hacen en la innovación del diseño del MN.

Flores Choperena (2022) menciona que existen tres tipos de riesgo, que para fines de esta tesis se consideran criterios que deben de ser validados o invalidado por los expertos. Estos criterios están ligados a un grupo de bloques del CANVAS (véase **Figura 33**). El segmento de mercado, la propuesta de valor, los canales y la relación con el cliente están ligados con el criterio de deseabilidad que pueda tener el cliente por el producto o servicio. El criterio de factibilidad indica sí existen las condiciones necesarias internas y externas que hagan viable el proyecto, los bloques de actividades clave, asociaciones clave y recursos clave están ligados con este riesgo. Por último, el criterio de viabilidad se da cuando no se es capaz de generar ganancias, esto se liga con los bloques de costos y fuentes de ingresos. En la **Figura 34**, se ofrece una descripción de las características que presentan estos criterios y de las preguntas que se tienen que responder para tener claridad de la oportunidad que tiene el MN.

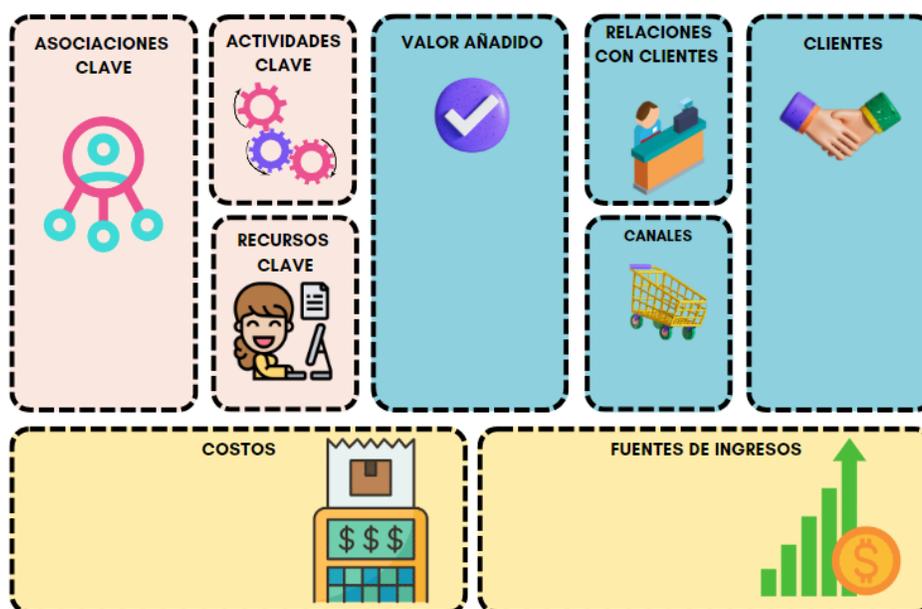


Figura 33. Criterios de validación

Fuente. Flores Choperena, Osca E. (2022).

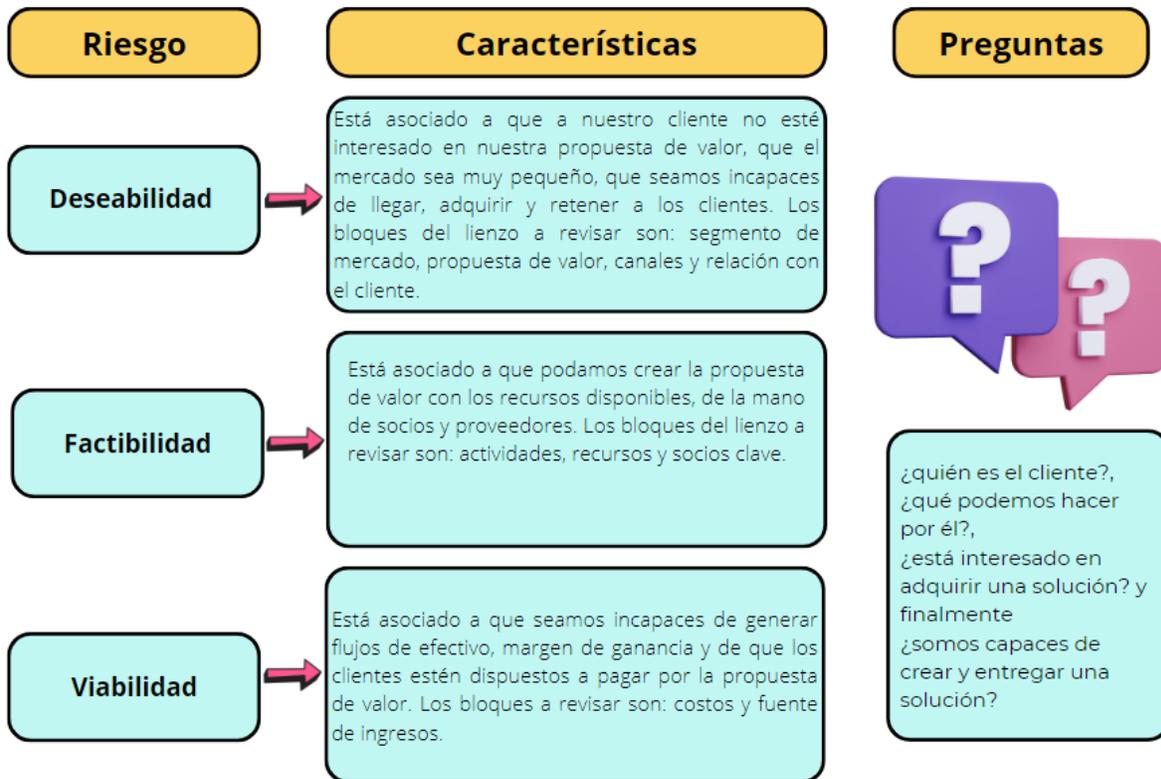


Figura 34. Riesgos del Modelo de Negocio

Fuente. Flores Choperena, Osca E. (2021).

CAPITULO 3. Formulación de un modelo de negocio circular para empresas valorizadoras de RAEE

3.1 Análisis espacial

Como ya se mencionó en la **sección 2.8.4**, se hizo un análisis especial en toda la República Mexicana que permitió conocer los Estados que tienen mayor número de unidades económicas pertenecientes a la cadena de suministro directa y a la cadena de suministro inversa y cuáles son aquellos que tienen pocas UE dedicadas a eso o que simplemente no cuentan con ellas. Además, en la **Figura 35** se observa que el Estado de México, la Ciudad de México, Jalisco y Guanajuato son los Estados con mayor número de UE dedicadas a la CSD y a la CSI, lo que podría ser un impulso para que estos Estados sean pioneros en cerrar el ciclo de la Cadena de Suministro, haciéndola circular. Además, se puede ver que Estados como Tamaulipas, Veracruz, Puebla y Querétaro tienen mucho más UE dedicadas a la CSD y casi nada a la CSI.

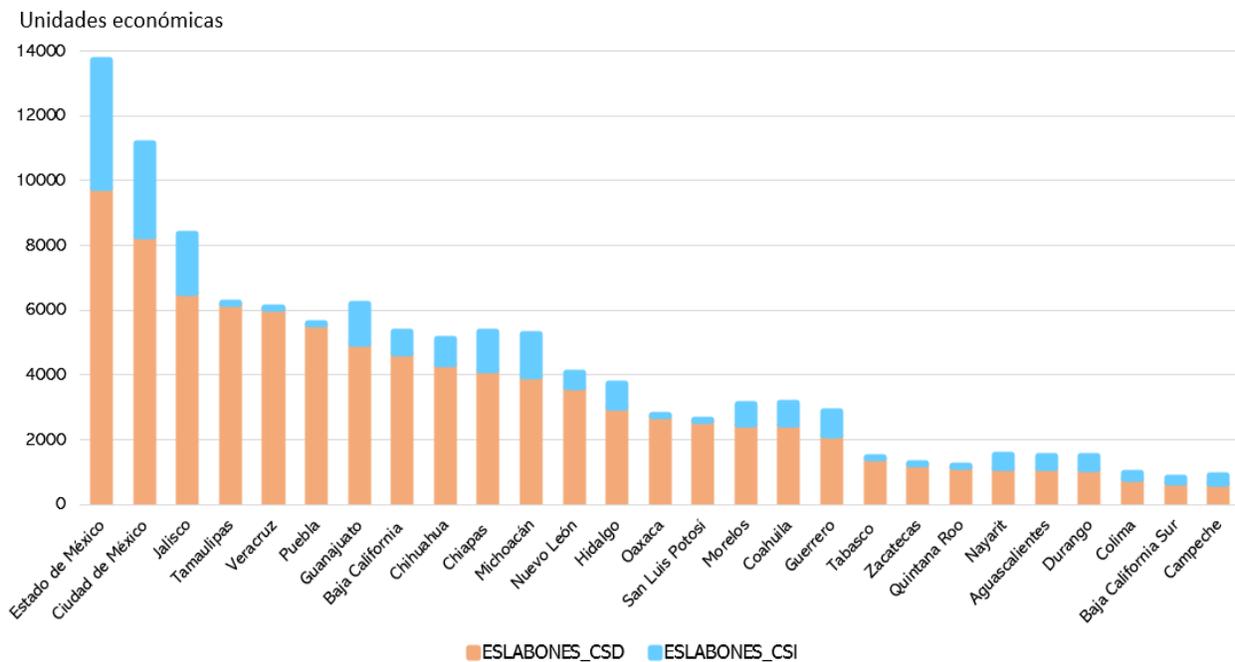


Figura 35. Unidades económicas eslabones de la CSCC de los AEE y RAEE.
Fuente. INEGI (2021)

También se buscaron cuáles eran los Estados en los que hay mayor número de UE dedicadas a la CSI sin importar el número de UE dedicadas a la CSD. En esta búsqueda se encontró que estos Estados son: Estado de México, Ciudad de México, Jalisco, Guanajuato y Michoacán. Véase **Figura 36**.

Es notorio y consistente con la **Figura 36** que las unidades económicas eslabones de la CSI se ubican en Estados generadores de los RAEE o en aquellos de desarrollo industrial importante donde encuentran condiciones adecuadas para el desarrollo de sus operaciones. Se corrobora que en muchos Estados las actividades de valorización de los RAEE no son atractivas o no son actividades económicas rentables. Llama la atención que algunos Estados sin ser centros importantes de desarrollo industrial cuentan con mayor número de unidades económica que incluso algunos que sí lo son, por ejemplo, Chiapas y Michoacán. Se podría inferir algún tipo de vocación regional, habría que indagar al respecto.

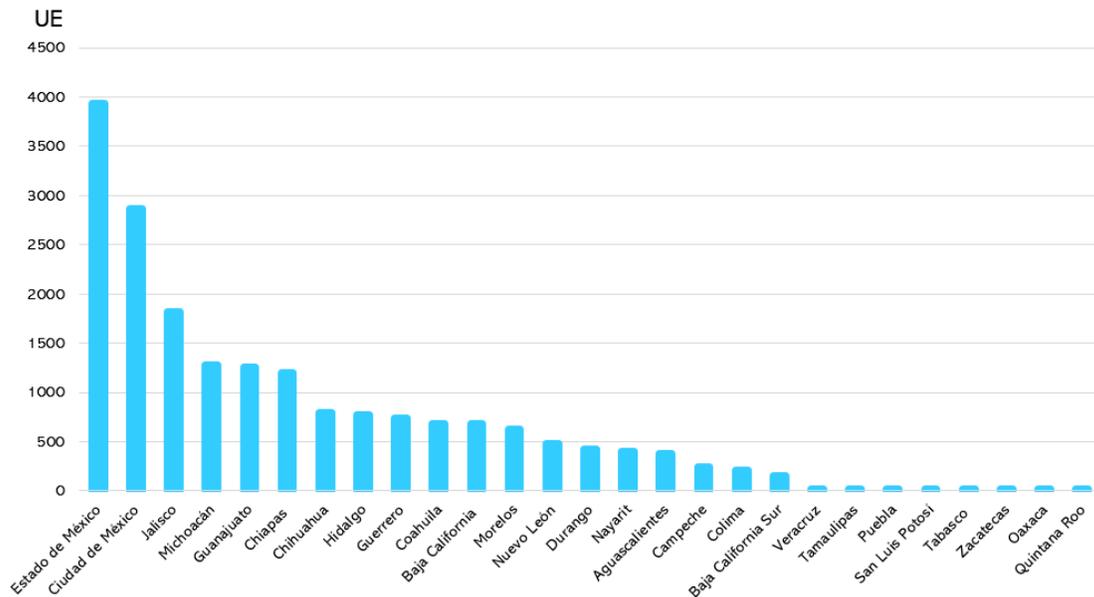


Figura 36. Unidades económicas eslabones de la CSI en el país.

Fuente. INEGI (2021)

Se eligió de zona de estudio a la Ciudad de México, ya que como ya se mencionó en el Capítulo 1, es el Estado que genera mayor cantidad de RAEE y el segundo con más unidades económicas en México. La **Figura 37** muestra el número de unidades económicas que realizan tres actividades relevantes en la CSD de los AEE. Las unidades económicas dedicadas al comercio son las de mayor número. Las dedicadas a la fabricación son muchas menos, igual que aquellas dedicadas al alquiler. Estos datos nos hacen pensar en múltiples nodos que facilitan la adquisición de los AEE por parte de los clientes que posteriormente se convertirán en generadores de RAEE. Por su número y función, los nodos del eslabón comercio son relevantes para la CSCC de los RAEE y para los procesos de logística inversa. Estos podrían ser la fuente de datos respecto de la naturaleza y el flujo de AEE que posteriormente se transforman en RAEE. Por ejemplo, el número de AEE que se venden,

algunas características como: tamaño y materiales que los componen, características de quienes los adquieren, porcentajes de retorno y devolución, entre otros.

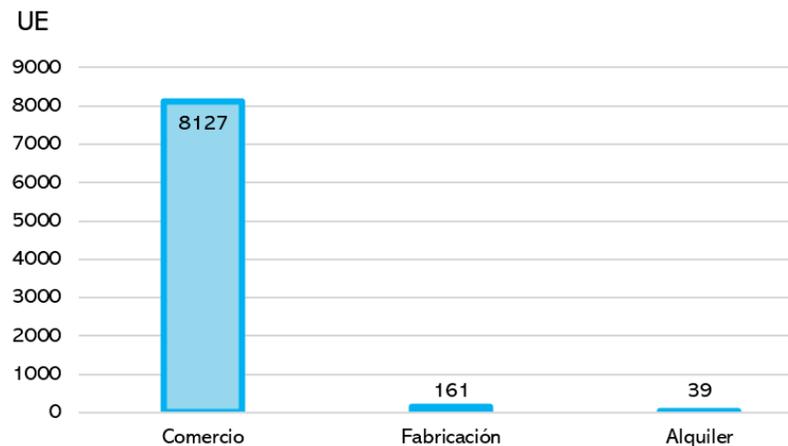


Figura 37. Unidades económicas eslabones de la CSD de los AEE en la Ciudad de México.

Fuente. INEGI (2021)

Una vez que se identificaron la UE pertenecientes a la CSD, se graficaron las UE dedicadas a la CSI de los RAEE en la CDMX. Las actividades que más se realizan son la reparación y mantenimiento, esto podría ser un indicador de la conducta que presentan los consumidores respecto a lo que hacen una vez que sus AEE se descomponen o se vuelven obsoletos. Además, estos resultados invitan a pensar en buscar alternativas innovadoras a los modelos de negocio que ya existen para que tengan mayor crecimiento. La recuperación es una actividad a la que se le presta poca atención, sin embargo, si los materiales recuperados son manejados adecuadamente alcanzan precios de mercado rentables y favorecen su incorporación a otras cadenas productivas. **Véase Figura 38.**

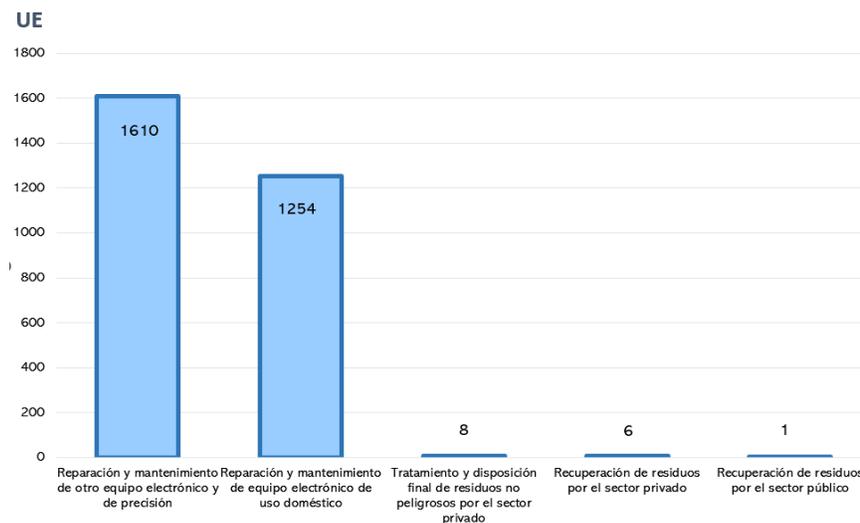


Figura 38. Unidades económicas eslabones de la CSI de los AEE en la Ciudad de México.

Fuente. INEGI (2021)

Como siguiente paso en la investigación, se consideró necesario identificar la distribución de las UE en cada alcaldía de la CDMX, esto con la finalidad de encontrar si había factores que pudieran incidir en el comportamiento que tuvieran. De la gráfica que se muestra en la **Figura 39**, se puede observar que las UE no están distribuidas uniformemente por toda la CDMX y que hay alcaldías como la Cuauhtémoc que presentan gran cantidad de UE dedicadas a la CS, probablemente influye la ubicación que tiene. Le siguen, con mucho menos UE, la alcaldía Iztapalapa y la alcaldía Gustavo A. Madero. También se puede observar que, aunque existan UE dedicadas a las CSI en dichas alcaldías su número es mucho menor al de las UE dedicadas a la CSD. Además, se observa que, aunque el número de UE en otras alcaldías es menor es un poco más proporcional en ambas Cadenas de Suministro. Esto podría facilitar el cierre del ciclo.

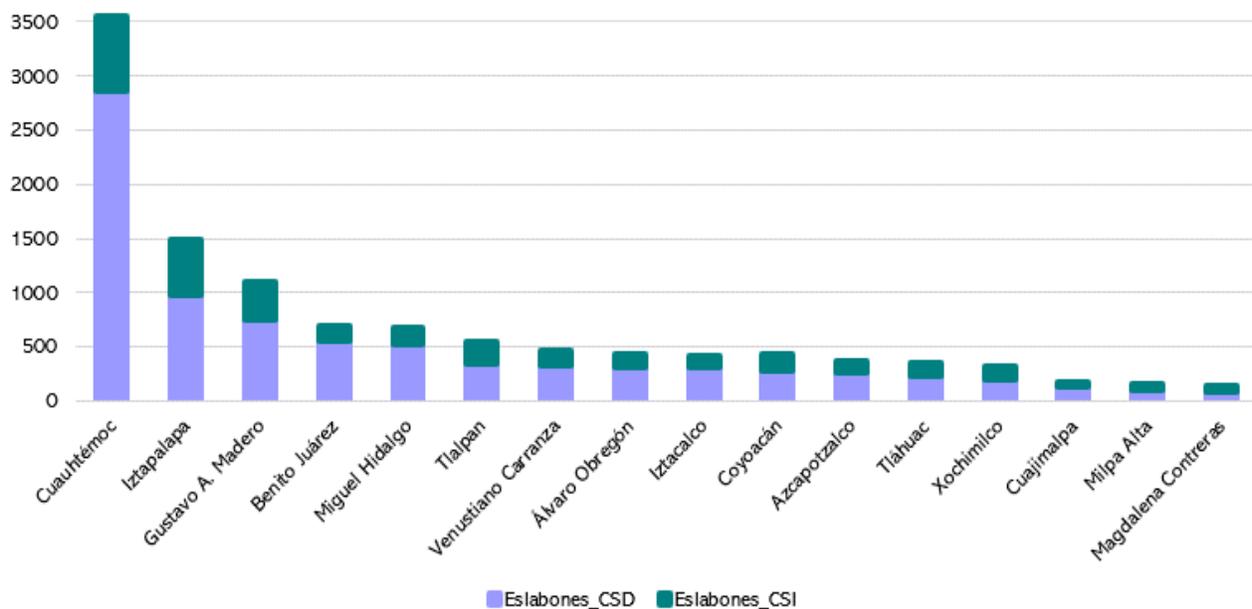
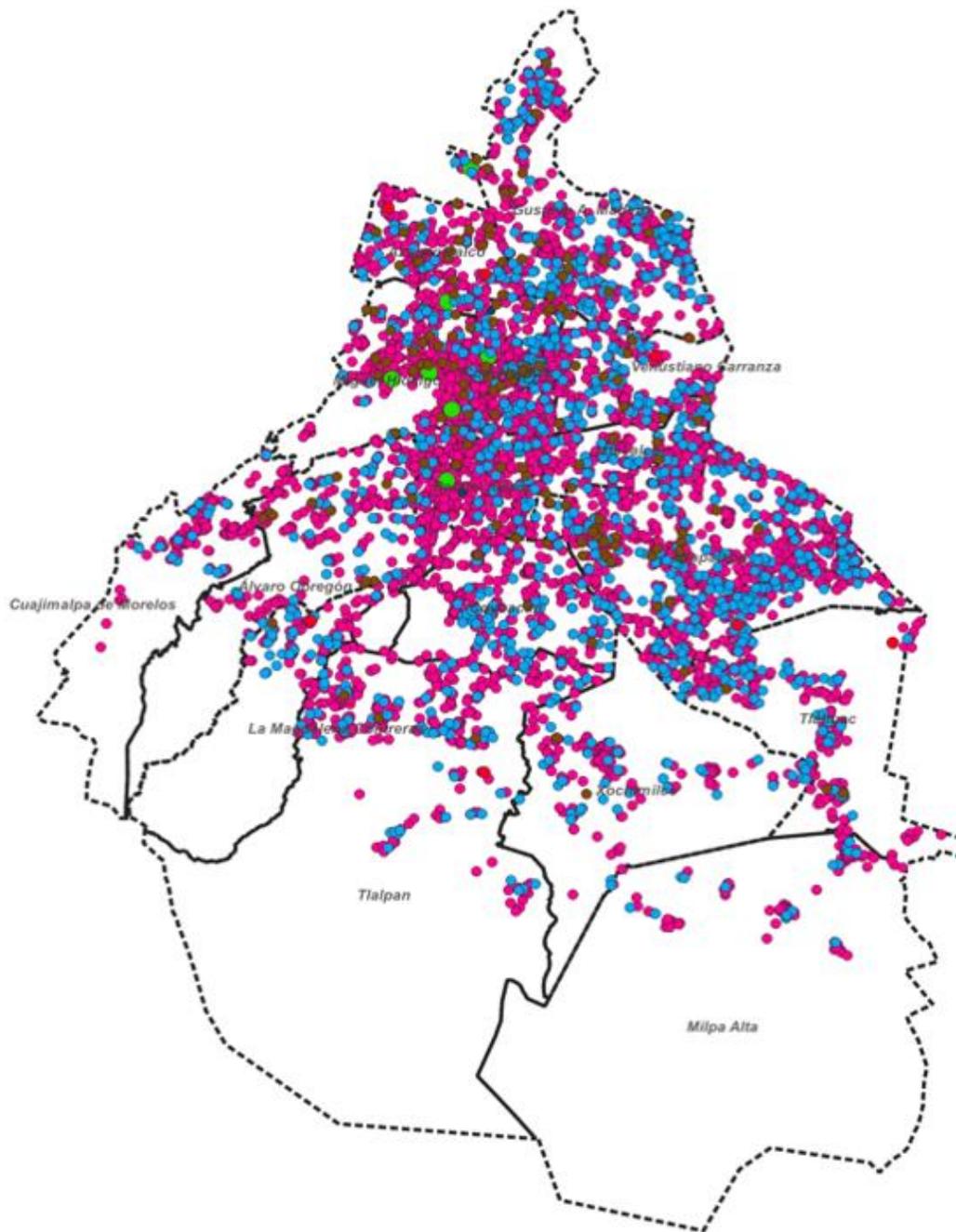


Figura 39. Unidades económicas eslabones de la CSCC por alcaldías de la CDMX.

Fuente. INEGI (2021)

Por último, se hizo un bosquejo de las UE dedicadas a la CSD y a la CSI de los AEE y RAEE, esto con la finalidad de que se pueda observar la distribución de los nodos de estas cadenas. En la **Figura 40**, se observa que la distribución de estos nodos es menor en el sur, si comparamos los nodos que se encuentran en el centro y parte del norte de la CDMX, esto puede ser debido al tipo de actividades e ingresos que se tienen en determinadas zonas de la Ciudad.



- CDMX
- FABRICACIÓN
- RECUPERACIÓN_TOTAL_CDMX
- REPARACIÓN_MANTENIMIENTO_EQUIPO_ELECTRÓNICO_CDMX
- ALQUILER DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS PARA EL HOGAR Y PERSONALES
- TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS NO PELIGROSOS POR EL SECTOR PRIVADO
- COMERCIO_TOTAL_CDMX

Figura 40. Bosquejo de la red logística de la CSCC.

Fuente. INEGI (2021)

3.2 Modelo de negocio con el que operan las empresas reparadoras de RAEE

A partir de la información, los cuestionarios obtenidos, la revisión de la literatura y las visitas a empresas que valorizan RAEE, se identificó que la mayoría son UE dedicadas a la reparación y venta de celulares y accesorios, es decir no trabajan otro tipo de AEE (**Véase Figura 41**). Por lo general son empresas que tienen un promedio de tiempo de vida de aproximadamente seis años, esto puede ser a la diversificación que han tenido, muchas de ellas empezaron vendiendo solo equipos celulares, pero con el paso del tiempo y la necesidad que empezaron a tener los usuarios por reparar sus equipos de manera rápida y segura hizo que estos negocios agregaran el servicio de reparación. Esto también ha provocado que busquen socios clave que se encuentren cercanos y con los que puedan acceder a refacciones, para así evitar tener que trasladarse y perder tiempo en eso.

Utilizan procesos manuales para la reparación, es decir, no cuentan con ninguna tecnología que facilite el diagnóstico del equipo, ni que haga eficiente el proceso. Aunque muchas ya realizan el servicio dentro del mismo negocio, también hay algunos que requieren de UE externas para poder hacer la reparación. Esto último dificulta mucho el proceso, ya que al ser intermediarios provoca más pasos y por lo tanto más tiempo.

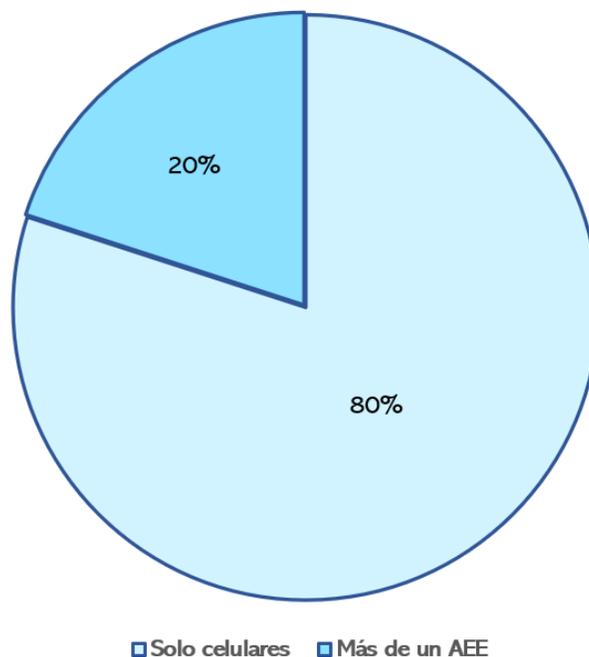


Figura 41. Tipo de AEE que trabajan las UE

Respecto a los dueños y encargados del negocio se identificó que la actividad principal que realizan es la venta, la recepción y diagnóstico del equipo (**Véase Figura 42**). En relación con el concepto de EC, se identificó que la mayoría había oído el término, sin embargo, desconocían el concepto y las particularidades que tiene. Una vez que se explicó el concepto y los beneficios que tiene implementar prácticas circulares a los negocios consideraron que es una buena opción, pero de difícil implementación ya que existen factores externos e incluso internos que lo dificultan.

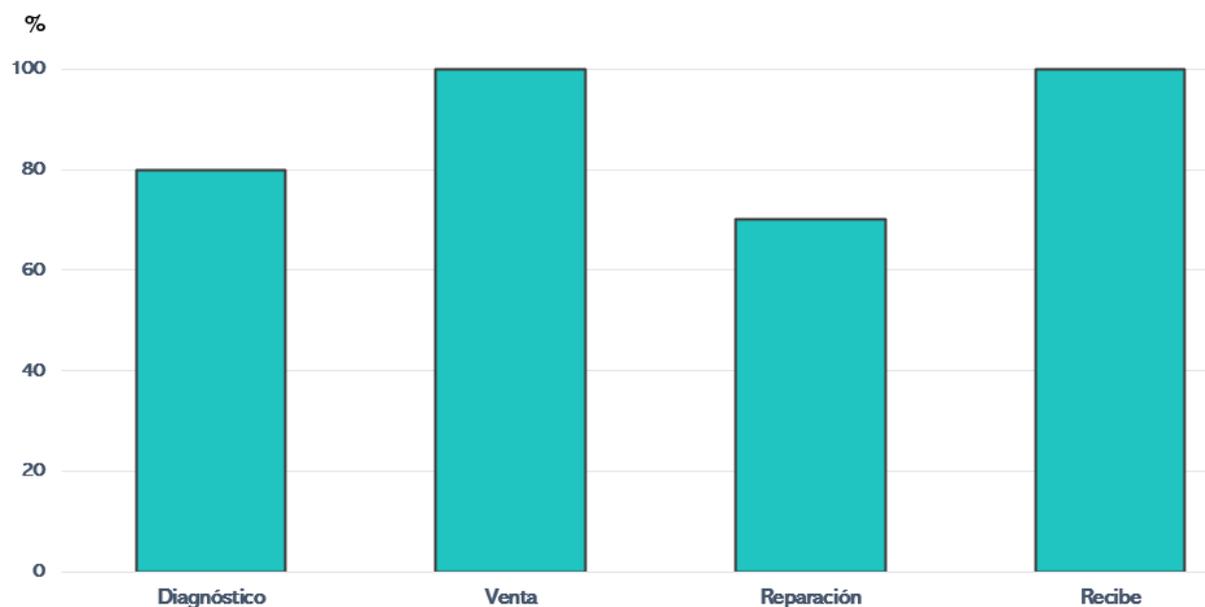


Figura 42. *Actividades que realizan los dueños y encargados de UE*

Estos negocios son microempresas, el número de trabajadores con el que cuentan en promedio es de dos. Por lo general los trabajadores de estas UE son jóvenes adultos que tomaron algún curso o mediante la observación aprendieron a reparar estos aparatos, sin embargo, no cuentan con las habilidades o conocimientos necesarios que les permita dar un trato adecuado a los RAEE. Además, su conocimiento se ve limitado respecto a la circularidad que pueden tener los dispositivos y los componentes de estos. También están encargados de ir por las refacciones.

Respecto a las prácticas circulares que se realizan en estos negocios se identificó que, del marco de las R, la reparación y el reciclaje son las más frecuentes. En la **Figura 43**, se observa que, de las OLA, las operaciones que más realizan son el almacenamiento temporal y el manejo de materiales. Algunas UE también se encargan de la recolección de los AEE, sin embargo, es una operación que no es muy frecuente y la mayoría de las UE que lo hacen son aquellas que trabajan con otros AEE, además de los celulares.

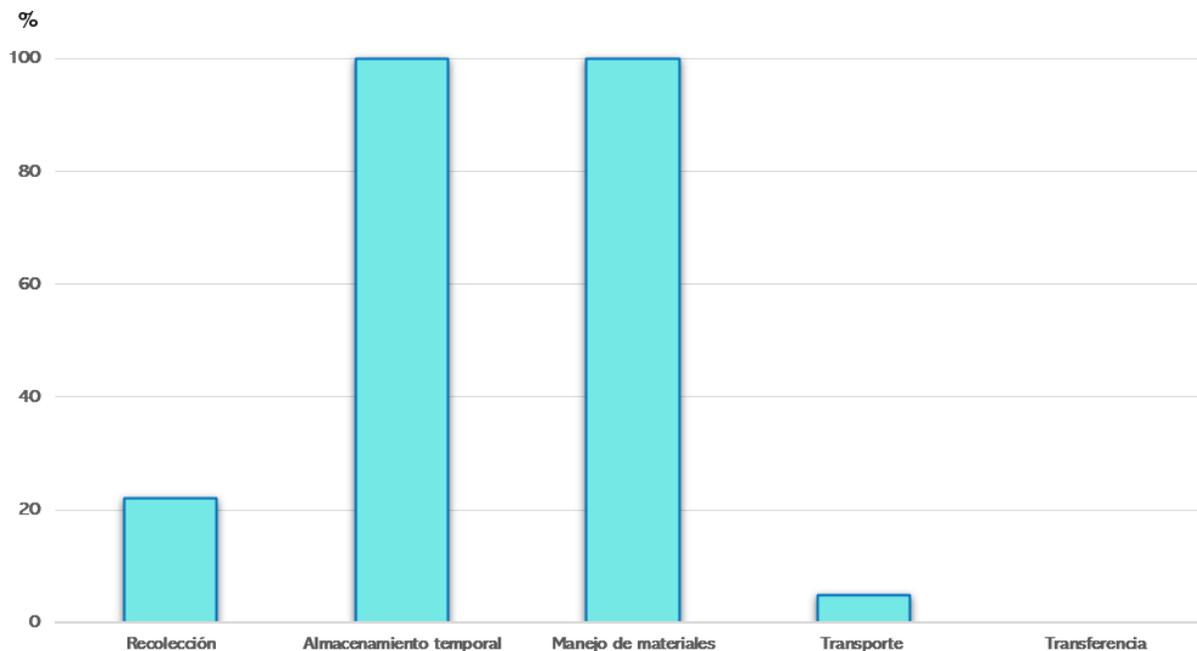


Figura 43. OLA que realizan las UE

Sobre los sobrantes, se determinó que una vez que se realiza la reparación del celular estos son considerados basura y son desechados y entregados a los recolectores de basura junto con los RSU.

Como se observa, las UE que fueron analizadas tienen pocas prácticas circulares que estén orientadas a la EC, el concepto todavía no es utilizado en estas empresas, por lo que las pocas prácticas que llegan a seguir son “imitación”, pero sin las habilidades técnicas y ambientales que se deberían tener.

A manera de resumen, la **Figura 44**, muestra el proceso que se lleva a cabo para la reparación del celular, desde la generación del RAEE, hasta la entrega.

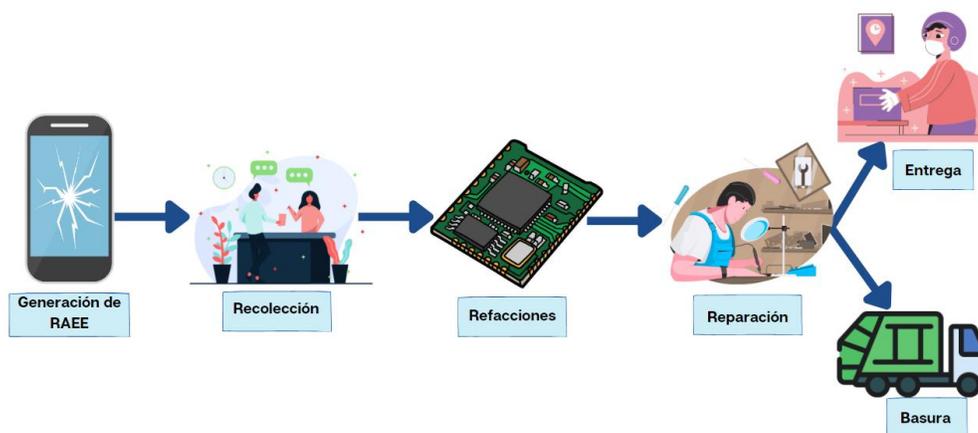


Figura 44. Proceso para reparar un celular

Se encontraron hallazgos que permitieron la formulación del modelo de negocio con el que operan actualmente las empresas valorizadoras de RAEE, el cual está enfocado en la reparación de celulares. **Véase Figura 45.**

Como primer hallazgo se identificó el tipo de producto que se está ofreciendo, el cual es la venta de accesorios para celulares, tablets y computadoras y la venta y reparación de celulares.

Otro hallazgo, fue el arquetipo de los clientes, los cuales son adultos y jóvenes adultos que ya sea porque tienen recursos limitados o simplemente no quieren comprar un equipo nuevo buscan reparar su equipo celular a un bajo costo y en lugares cercanos a su domicilio. Esto último también representa el valor añadido que la empresa le puede ofrecer al cliente, además de la seguridad y comodidad que representa el no tener que invertir tiempo en traslados.

La relación que tienen las UE con el cliente es de operación única ya que regularmente se hace en una sola transacción y de asistencia personal, es decir que tienen una interacción muy cercana el encargado del negocio y el cliente para poder determinar los objetivos que tiene el cliente y como se pueden solucionar. Los canales de comunicación y venta que tiene la empresa con el cliente son propios e indirectos ya que cuentan con una tienda física.

Los socios clave que permiten al negocio su crecimiento son empresas proveedoras de refacciones, con las cuales se forman alianzas estratégicas, además, de asociaciones con empresas competidoras a las que acuden a reparar aparato. Además, aprovechan programas del gobierno local que buscan impulsar el crecimiento de las empresas.

Los recursos clave que permiten a las empresas crear y continuar con sus actividades clave son recursos humanos ya que como se mencionó, los empleados son principales encargados en realizar la reparación de los celulares, además de físicos por el equipo de trabajo.

Por las características que tienen estas empresas buscan mantener una estructura de costos reducida que les permita continuar con sus operaciones. Los costos que involucra esta estructura es el salario de los empleados, costos de equipo de trabajo, de mobiliario de

materia prima y extras. En **Tabla 11**, se observa y se desarrolla más la descripción detallada de cada uno de estos componentes del canvas del modelo de negocio que ya se presentó.

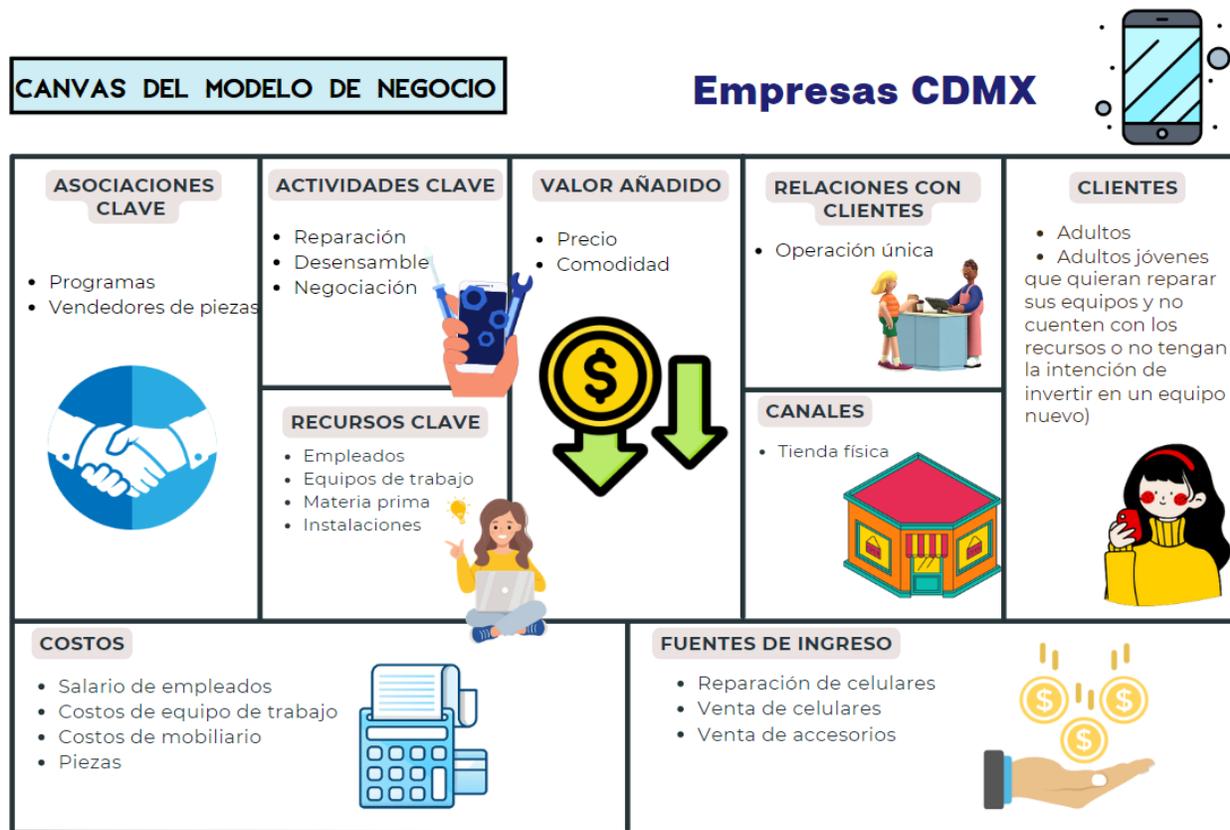


Figura 45. Empresas valorizadoras de RAEE

Módulo	Descripción
Clientes	Adultos y adultos jóvenes que requieren reparar sus dispositivos a bajo costo y en lugares cercanos a sus viviendas.
Valor añadido	Comodidad y precio. La comodidad referida al tiempo de traslado entre la vivienda del cliente y la empresa reparadora. El precio referido al comparativo entre reparar el equipo y comprar uno nuevo.
Canales	Tienda física.
Relaciones con clientes	Operación única.
Fuentes de Ingresos	Reparación de celulares, venta de celulares, venta de accesorios. La venta es directa con pagos hechos con tarjetas de crédito y de débito.
Recursos clave	<ul style="list-style-type: none"> Humanos: técnicos que realizan el servicio. Físicos: herramientas de trabajo. Económicos: líneas de crédito.
Actividades clave	Reparación y venta de celulares y de accesorios para celulares.
Asociaciones clave	Empresas proveedoras de refacciones para celulares. También, aunque es poco común, el gobierno local, el federal y organismos privados.
Costos	De los recursos clave, las actividades clave y los socios clave. La escalabilidad del modelo de negocio es limitada dado que el servicio está asociado al tiempo de reparación asociado al número de trabajadores por empresa.

Tabla 11. Descripción del MN

3.3 Proceso de Innovación del Modelo de Negocios

3.3.1 Diagnóstico

Como ya se mencionó en la **sección 2.7**, el diagnóstico es la primera etapa en el proceso de innovación del MN. En la sección pasada, se indagó sobre los datos que se obtuvieron de la observación y las entrevistas que se realizaron a las UE, lo cual dio como resultado el MN con el que operan. Con este resultado, se hizo un análisis basado en los componentes del triángulo de la innovación para después con ayuda de los 55 arquetipos se pudieran hacer las modificaciones necesarias al MN. La propuesta de valor (*¿Qué?*) de estas UE es la reparación de teléfonos celulares con una inversión mínima de tiempo para el consumidor, ya que los negocios se encuentran cercanos a sus domicilios y a un costo menor que si compran un equipo nuevo. El cliente a quién va dirigido (*¿Quién?*), son personas que requieran reparar sus equipos y no cuenten con los recursos o no tengan la intención de invertir uno nuevo. La cadena de valor (*¿Cómo?*) que realizan este tipo de negocios es conseguir refacciones nuevas o reparadas con distintos proveedores, estas refacciones las consiguen cuando tienen un equipo que van a reparar o en algunos casos buscan tener material extra. Por último, la forma en la que generan ingresos (*¿por qué?*), es cuando las personas buscan los servicios de estos negocios ya que es más económico reparar su equipo que comprar uno nuevo, además esto es un indicador de que muchas personas buscan prolongar el tiempo de vida de sus equipos. En la **Figura 46**, se hace la descripción del análisis.

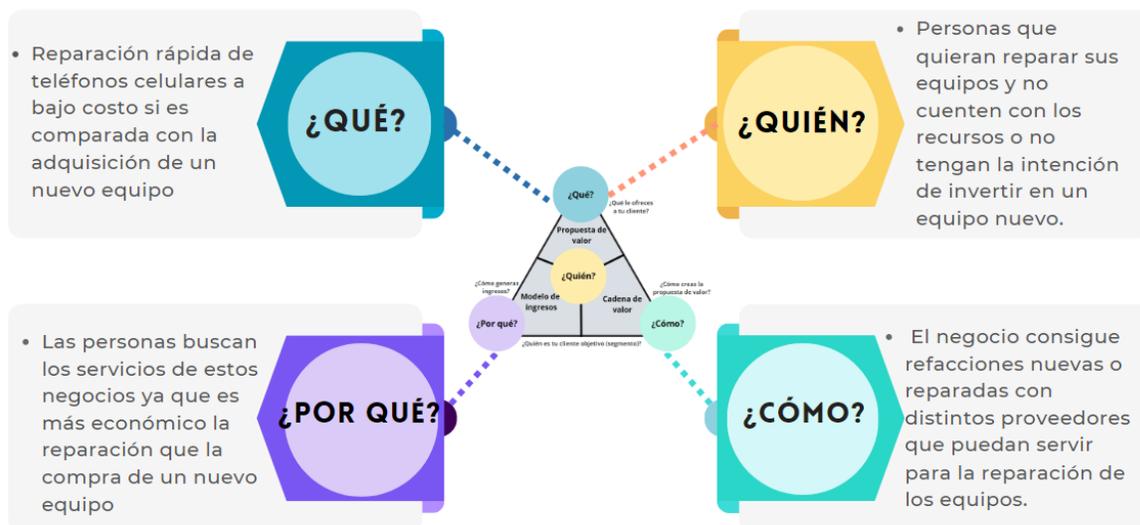


Figura 46. Diagnóstico MN actual

Como segundo paso, se utilizó la planeación estratégica para hacer un análisis interno y externo del modelo actual, esto con la finalidad de dar estructura a la información que se encontró. Para este análisis se tomaron como inferencia los componentes y los propósitos de la técnica FODA (**Véase Figura 47**) y el análisis PESTEL. De este último, se utilizaron algunos parámetros que ayudaron a identificar aquellos factores que interfieren directamente en el MN. A continuación, se presentan los resultados:

Factores Económicos: La mayoría de los negocios que fueron visitados no cuentan con la capacidad económica para realizar una inversión que les permita contratar técnicos más especializados en RAEE, por lo que contratan personas que tomaron algún curso o aprendieron mediante la observación. Además, tampoco podrían hacer grandes cambios en sus instalaciones.

Factores Sociales: Las personas que buscan los servicios de reparación de sus equipos telefónicos, lo hacen para no tener que invertir más dinero en equipos nuevos. La mayoría de las personas que se dedican a la recolección de RAEE son personas que no cuentan con los conocimientos para darle un tratamiento adecuado al residuo, eso dificulta la interacción entre eslabones de la CSCC. Esto quiere decir, que los recolectores recuperan con métodos inadecuados los materiales que son valiosos para ellos, ya que su único objetivo es obtener la parte que les pueda generar valor económico, de la manera más barata para hacerlo.

Factores Tecnológicos: Los negocios no cuentan con tecnología que pueda permitir tener un aprovechamiento mejor de los AEE y RAEE. No cuentan con maquinaria en la que los metales que contienen los RAEE puedan ser refinados, todas sus actividades son manuales, lo que sesga un poco el aprovechamiento de estos materiales.

Factores Políticos/legales: Existen leyes, normas y programas que están enfocados a valorizar los RAEE, sin embargo, no están muy claras las condiciones que tienen que cumplir todos los actores involucrados para que puedan ser aprovechados los residuos.



Figura 47. FODA del modelo de negocio

El modelo de negocio de las empresas reparadoras de celulares es rentable, su rentabilidad se basa en el costo que tienen algunas refacciones y la generación de ganancias que tienen al realizar la reparación del equipo sin embargo, no considera aspectos necesarios para que pueda ser considerado un MNC, como el tratamiento adecuado para los RAEE, de los cuales si está bien hecho pueden ser aprovechado el residuo o sus piezas para reincorporarse a una nueva cadena de valor. Aunque son negocios rentables que cada vez son más buscados por los clientes, presentan debilidades y amenazas que deben de ser atendidas para que se vuelvan negocios sostenibles.

3.3.2 Ideación

Para la etapa de ideación se analizaron los 55 arquetipos que existen y se obtuvo que solo algunos arquetipos podían encajar debido a las características que presenta el modelo actual y por las condiciones internas y externas que se presentan. A continuación, se presenta el análisis que se hizo de estos ya que con ayuda de este proceso se pudo determinar el arquetipo ideal para la restructuración del MN. Los círculos rosas que se encuentran en el triángulo son aquellos que fueron modificados, los círculos que no estén de ese color son aquellos que permanecen igual que el MN actual.

1. Arquetipo de basura a dinero

Se considero el arquetipo de basura a dinero ya que los objetivos que presenta están encaminados en expandir el mercado para los residuos, ya sea para incorporarlos a una nueva cadena o aprovechar sus materiales mediante el reciclaje. Con este arquetipo se cambia la propuesta de valor la cual está orientada a que estas UE se dediquen también al reacondicionamiento de equipos celulares, tablets y computadoras, además de seguir ofreciendo el servicio de reparación y venta de equipos, por lo tanto, también se modifica el cómo se crea la propuesta de valor. En **Figura 48**, se muestra a detalle cada una de las dimensiones que han sido modificadas.

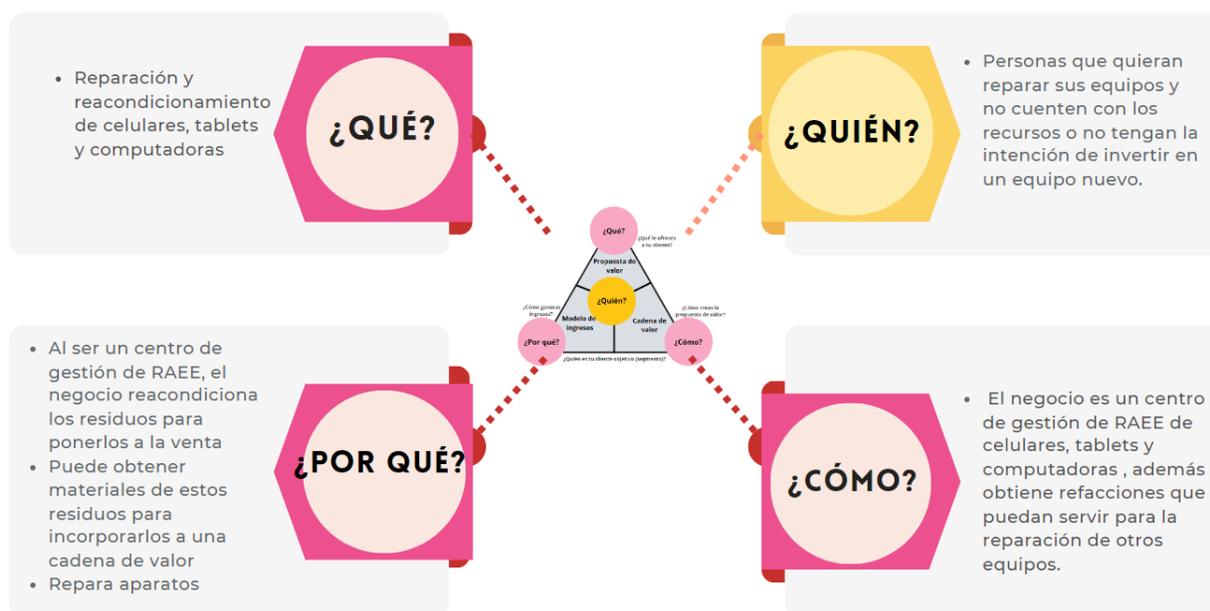


Figura 48. Dimensiones del MN con el arquetipo de basura a dinero

2. Comercio electrónico

Con este arquetipo se busca expandir el mercado de los negocios, si hoy en día muchas de las actividades se realizan con ayuda de aplicaciones tecnológicas, los negocios no pueden quedar atrás. La comunicación se debe de dar por medios electrónicos, ya que muchas veces es el primer acercamiento que los clientes tendrán. Las dimensiones que se modifican con este arquetipo son ¿qué?, ¿cómo? y ¿por qué? En la **Figura 49** se observan los detalles.

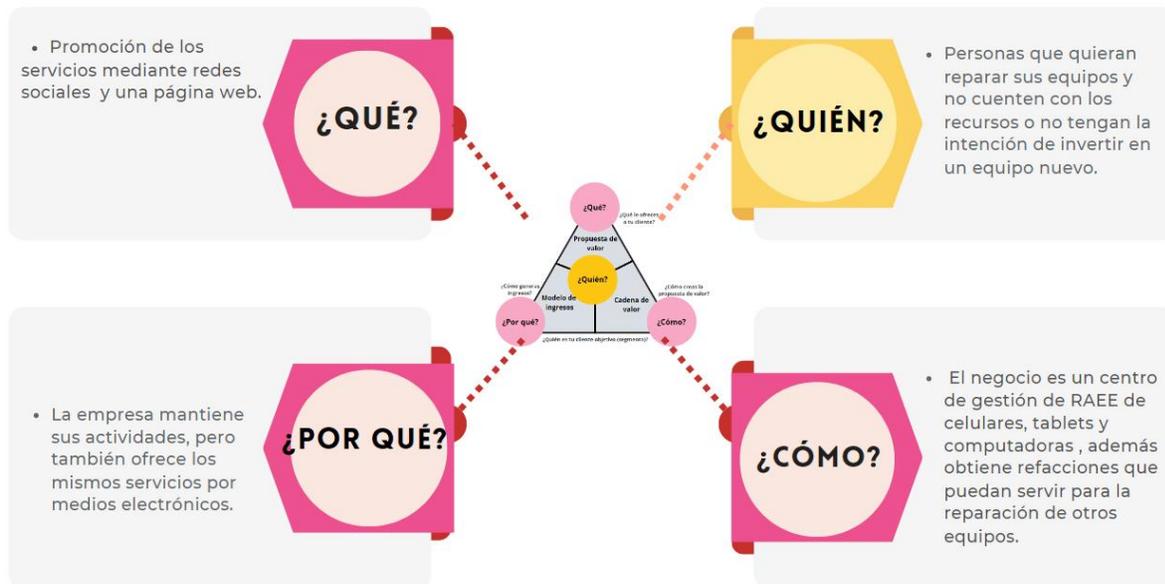


Figura 49. Dimensiones del MN con el arquetipo Comercio electrónico

3. Añadir

Al usar el arquetipo de añadir, los negocios pueden verse beneficiados, pues está enfocado a aplicarse en aquellos negocios en donde los precios de sus productos o servicios sean competitivos. Cuando se ofrecen este tipo de productos, los clientes no tomarán a mal la idea de agregar más cosas a su compra. Un equipo reparado o reacondicionado es más económico que un equipo nuevo, es ahí cuando se le puede ofrecer a los clientes más cosas. (Véase Figura 50).

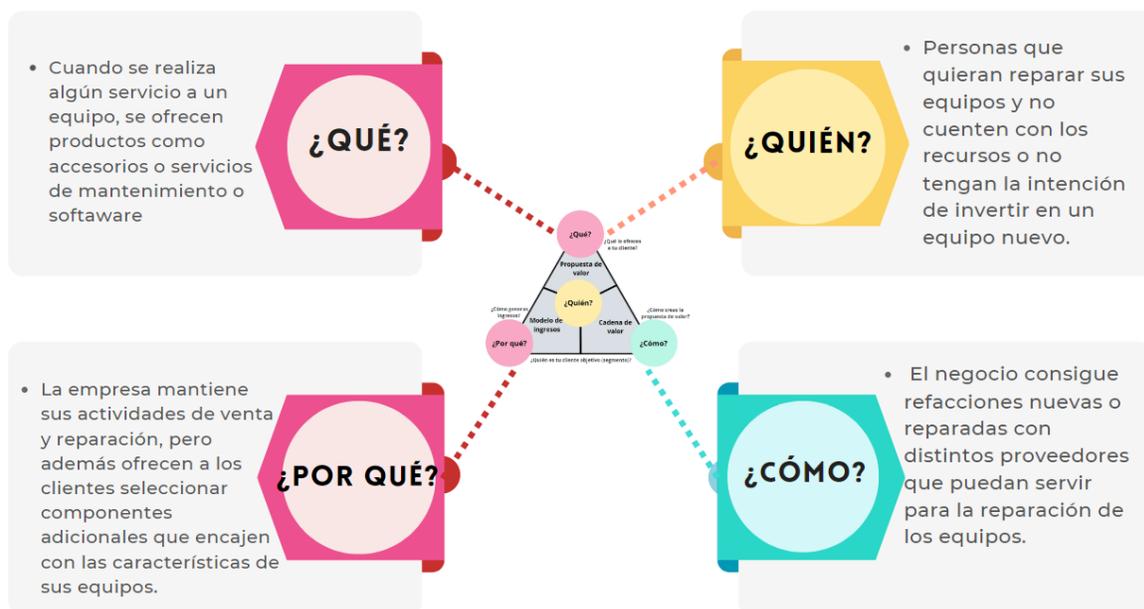


Figura 50. Dimensiones del MN con el arquetipo Añadir

3.4 Propuesta de Modelo de Negocio Circular

El objetivo de esta propuesta es cubrir las necesidades que se tienen actualmente en un mundo cada vez más globalizado que requiere de estar en comunicación constante o de realizar trabajos mediante equipos tecnológicos. Las personas tienen la necesidad de tener estos equipos, debido a factores sociales, económicos y ambientales se ven limitados a adquirirlos.

Después de revisar los arquetipos que se consideraron idóneos de acuerdo con el concepto actual del negocio y al objetivo de esta tesis, se realizaron combinaciones que pudieran encajar mejor con las condiciones actuales, internas y externas que tendrían que enfrentar estos negocios.

Se consideró que la combinación de arquetipos que concuerda mejor para la propuesta de innovación del MN es de basura a dinero, añadir y comercio electrónico. Se pensó en combinar estos tres arquetipos ya que al definirse tan bien, pueden llegar a fortalecer las características que tendrá este nuevo modelo. Como resultado se obtiene que la propuesta de valor vaya enfocada a que las UE se dediquen a ser un centro de gestión de RAEE que reciba residuos de celulares tablets y computadoras, los cuales son llevados por personas que no tienen la intención de reparar su equipo, pero que por diversos factores como el ambiental o económico deciden llevarlo a un centro para que le den otro tipo de tratamiento a su RAEE.

Además, al valorizar adecuadamente estos residuos, la empresa tendrá la oportunidad de sacarles provecho y reincorporarlos a un nuevo ciclo de vida. Por lo tanto, se reducirán los costos de la empresa, lo que se verá reflejado en los precios que ofrece, esto es muy importante ya que es una de las principales formas para captar clientes.

Al ser una propuesta en la que el factor económico no representa una excentricidad, se propone ofrecer productos adicionales que complementen sus compras, como software, mantenimiento o accesorios para sus equipos.

El segmento de mercado a quien va dirigido sigue siendo a personas que estén en el rango de edad de más de veinte años y que quieran adquirir un equipo reacondicionado o reparar su equipo a menor costo, ya sea porque no tengan la oportunidad de comprar un nuevo equipo o porque simplemente no tengan la intención de hacerlo.

Respecto a los canales de contacto, aquí deben permanecer las sucursales físicas, pero también deben de existir otro tipo de canales que faciliten la comunicación y que permitan a

los negocios ponerse en el contexto actual. Los medios que se proponen son mediante página web en la que se suba las actividades que realiza el negocio, así como los productos que venden y mediante redes sociales, las cuales serían el primer acercamiento que tengan muchos de los clientes con el negocio.

Las redes sociales deben de usarse para dar a conocer las ventajas que tiene el consumir los productos que ofrece el negocio, así como hacer oferta de lo que se tiene. La relación que se tenga con los clientes también debe de ir dirigida a poder dar una adecuada asesoría que pueda cubrir las necesidades que tenga cada uno, por lo que se considera que su tipo de relación debe ser de asistencia personal.

También se deben considerar actividades clave, las cuales se deben modificar de las que se hacen en el modelo actual, ya que son fundamentales para que se puedan considerar empresas con enfoque más circular. Estas actividades son la negociación que se tenga con los clientes y con los socios, la reparación, el desensamble, la recolección, el almacenamiento, la limpieza y la recuperación de materias prima. Todas estas actividades deben de ser hechas por técnicos expertos en el tema, que sean capaces de dar un tratamiento apto a los residuos para que puedan ser aprovechados. Además, otro recurso clave que se agrega es el internet, debido a las actividades que se tienen que hacer en la tienda en línea y en las redes sociales. Aunque en el modelo actual ya se contemplan las instalaciones, para esta innovación deben de estar más acondicionadas ya que se estarán tratando y almacenando residuos.

Como se busca obtener productos que puedan ser reacondicionados, materiales que puedan utilizarse en otro producto o que puedan reciclarse es necesario que se cuente con más socios clave que ayuden a fortalecer las bases del negocio. Se consideran como socios clave a recolectores de residuos, personas que quieran deshacerse de sus residuos, programas que estén enfocados a manejo de residuos o a impulsar el concepto de economía circular, además deben de buscar alianzas con fabricantes que los certifiquen como reparadores y con fabricantes de piezas nuevas o reparadas. En la **Figura 51**, se observa el canvas del modelo de negocio que, ya descrito, además se enmarcan con azul aquellos bloques que fueron modificados.

CANVAS DEL MODELO DE NEGOCIO

Propuesta

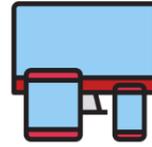


Figura 51. Propuesta de Modelo de Negocio Circular

Con el fin de fortalecer la propuesta del MN, se llevó a cabo una investigación que abordó varios aspectos clave. Se analizó el costo de los materiales (pantallas), que se utilizan para reemplazarlas de los equipos descompuestos. También se investigó el precio que da la empresa a los consumidores por este servicio y se comparó con las tarifas que ofrece por la reparación de sus equipos la empresa Samsung. Este análisis arrojó una evaluación del costo-beneficio que la empresa obtiene en relación con la adquisición de materiales y las posibles ganancias. Además, sobresalen las ventajas económicas que los clientes pueden obtener al optar por los servicios de estos negocios. Por último, para dar mayor respaldo a esta propuesta, se enfatizó en la importancia que tiene el ofrecer una garantía de calidad y servicio a los clientes. (Véase **Tabla 12**)

Equipo	Material (pantallas)	Costo de cambio de pantalla/Empresa	Diferencia de costos dentro de la empresa	Costo de cambio de pantalla/Samsung	Diferencia de costos entre empresas
S23 Ultra	\$2,000	\$3,600	\$1,600	\$6,545	\$2,945
S23 Plus	\$1,700	\$3,600	\$1,900	\$5,062	\$1,462
S23	\$1,700	\$3,600	\$1,900	\$4,720	\$1,120
S22 Ultra	\$1,960	\$4,800	\$2,840	\$6,716	\$1,916
S22 Plus	\$1,960	\$4,350	\$2,390	\$5,990	\$1,640
S22	\$1,800	\$4,000	\$2,200	\$4,630	\$630
S21 Ultra	\$1,500	\$4,400	\$2,900	\$6,797	\$2,397
S21 Plus	\$1,300	\$4,250	\$2,950	\$4,975	\$725
S21	\$945	\$4,200	\$3,255	\$5,226	\$1,026
S20 Ultra	\$1,260	\$4,200	\$2,940	\$7,624	\$3,424
S20 Plus	\$1,200	\$4,000	\$2,800	\$6,711	\$2,711
S20	\$1,200	\$4,000	\$2,800	\$6,254	\$2,254
S10 Plus	\$1,000	\$3,000	\$2,000	\$5,286	\$2,286
S10	\$715	\$2,500	\$1,785	\$5,637	\$3,137
S 10E	\$715	\$2,500	\$1,785	\$4,827	\$2,327
S9 Plus	\$500	\$2,000	\$1,500	\$4,921	\$2,921
S9	\$500	\$2,000	\$1,500	\$4,367	\$2,367
S8 Plus	\$400	\$1,700	\$1,300	\$3,346	\$1,646
S8	\$400	\$1,700	\$1,300	\$3,450	\$1,750
A 54	\$1,200	\$2,000	\$800	\$2,913	\$913
A34	\$1,200	\$2,000	\$800	\$2,574	\$574
A72	\$750	\$1,500	\$750	\$2,788	\$1,288
A52	\$700	\$1,500	\$800	\$2,867	\$1,367
A32	\$450	\$1,200	\$750	\$2,731	\$1,531
N10	\$1,100	\$4,800	\$3,700	\$7,148	\$2,348
N10 +	\$1,500	\$4,800	\$3,300	\$8,917	\$4,117

Tabla 12. Costos de reparación de pantallas.

Fuente. Elaboración propia con datos de empresas reparadoras de celulares y Samsung (s.f.).

3.5 Validación

3.5.1 Herramienta de validación

Se realizó un cuestionario semiestructurado a expertos que comparten como perfil el ser académicos, los cuales son especialistas en ingeniería de sistemas, modelos de negocio, consultoría y residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Antes del cuestionario se hizo una presentación a cada experto en la que se explicó cómo funciona el modelo de negocio actual, cuáles son las características que tiene, el proceso de innovación de este modelo para terminar con la propuesta de un nuevo modelo de negocio.

El cuestionario consta de catorce preguntas abiertas, trece de ellas están dirigidas a evaluar tres criterios de validación y una se enfoca en aspectos generales del MN propuesto (**Véase Anexo B**).

Se hicieron preguntas a los expertos respecto a la deseabilidad que puede llegar a generar el negocio a los clientes, que tan bien consideran que está enfocado el MN al segmento de

clientes, sus canales y el trato que tengan, así como validar si lo que se ofrece es adecuado para ese segmento.

Se cuestionó la factibilidad técnica que tiene el MN, todas estas preguntas están orientadas a identificar que tan buena opción pueden ser las actividades, recursos y socios clave que se plantean, considerando los antecedentes y necesidades del negocio. Por último, se cuestiona la viabilidad económica que puede tener el modelo.

3.5.2 Resultados del cuestionario de validación

La presentación de la propuesta se realizó a cada experto por separado, esto fue debido a que por sus actividades no tenían oportunidad de coincidir todos y al tiempo que se tenía para realizar el ejercicio. Después de la presentación y antes de comenzar con la aplicación del cuestionario, los expertos realizaron preguntas respecto a las dudas que llegaron a presentárseles. Sus dudas estaban muy enfocadas a conocer más detalles sobre el modelo actual, sobre la propuesta y sobre el mercado que existe actualmente en México de estos aparatos y residuos. Una vez que paso esta etapa de dudas y respuestas, siguió la aplicación formal del instrumento. A continuación, se presentan las evaluaciones en general de los criterios que fueron considerados.

- **Deseabilidad**

Los expertos consideraron que la propuesta es innovadora debido al enfoque que tiene, pues cubre las necesidades que existen actualmente respecto al manejo de los residuos, pero consideran que debe de delimitarse el perfil de los clientes ya que por el servicio que ofrecerían estos negocios, su segmento de mercado debe enfocarse a cierto grupo en especial y no generalizar. También consideraron que los canales de comunicación con el cliente son adecuados, pensando en que los negocios deben de avanzar conforme la tecnología lo haga, ven positivo que exista un cambio de los MN actuales en los que solo había tiendas físicas a crear tiendas en línea y atención por redes sociales. Por otro lado, algunos de los expertos opinaron que es bueno investigar sobre el interés que pueden llegar a tener los consumidores por esta nueva propuesta.

- **Factibilidad**

Respecto del criterio de factibilidad, algunas de las respuestas de los expertos estuvieron polarizadas ya que algunos consideraron que están bien identificadas las actividades clave, mientras que otros pensaron que se debe agregar otra actividad y algunas no deben de estar. Además, algunos opinaron que mientras más especializado sea el negocio, mejores resultados tendrá, por lo que es mejor que en

una primera etapa se especialicen en los RAEE que ya consideraron y no intenten ampliar su mercado, otros opinaron que sería bueno integrar otros tipos de RAEE. También consideraron que los socios clave son adecuados, sin embargo, se debe de tener cuidado con el tema de los recolectores, ya que son un actor clave muy complejo. Para llegar a ellos se deben de pensar en estrategias de integración. Por último, pensaron que los recursos clave están bien identificados y que un elemento muy importante para el funcionamiento del negocio serán los técnicos y sus conocimientos, ya que si ellos no saben tratar adecuadamente estos residuos difícilmente se puedan cumplir con los objetivos del negocio.

- **Viabilidad**

Respecto al criterio de viabilidad, los expertos tuvieron una postura polarizada, igual a la que tuvieron en el criterio de factibilidad. La mayoría considero que el negocio puede ser redituable siempre y cuando cumpla con la descripción y características que se mencionaron en la presentación, sin embargo, otros al no ver números se vieron más desconfiados. También consideraron que los costos que se contemplan son adecuados y que es un negocio que puede crecer pues está enfocado a competencias que se deben de tener actualmente.

- **Comentarios en general sobre la propuesta**

La mayoría consideró que es una idea innovadora que tiene potencial de crecimiento, pero que debe integrar estrategias para atraer el segmento de mercado adecuado, así como a los socios clave pues estos son fundamentales para que el negocio verdaderamente pueda crecer. El diseño del negocio está bien pensado para atender las necesidades que hoy en día están aumentando.

Capítulo 4. Conclusiones

1. El modelo de negocio formulado se enmarca en la idea de Economía Circular. Está basado en el aprovechamiento de los RAEE a través de su reparación y reacondicionamiento. Cubre las necesidades de los clientes potenciales como son las personas que no quieran o que por razones económicas no puedan comprar un equipo nuevo e incluye prácticas circulares como el reciclaje, la renovación, la remanufactura, la reparación y la reutilización que contribuyen a cerrar ciclos.
2. El modelo de negocio abona a la valorización de los RAEE. Con el aprovechamiento de los RAEE se disminuye el impacto ambiental que generan en el suelo, agua y alimentos debido a las sustancias tóxicas que los componen. Esto se logra implementando las técnicas de extracción adecuadas y que generen menos daños.
3. El modelo facilita la interacción de diferentes actores, incluyendo a los recolectores informales. La interacción se da cuando los recolectores informales se asocian con los negocios vendiéndoles los residuos que recolectan para que estas UE sean las que se encarguen del tratamiento del residuo. Esto último favorece a la eliminación del impacto negativo social que se da cuando la salud de los recolectores y de su entorno se pone en riesgo por lo impactos que se generan de una valorización inadecuada de los RAEE.
4. El modelo de negocio con el que operan las empresas valorizadoras de RAEE es deficiente respecto del aprovechamiento de los RAEE, en particular por lo inadecuado de los conocimientos y técnicas empleadas. Se enfoca en la reparación, que siendo una práctica circular no podría decirse es por sí sola representativa de la Economía Circular.
5. Con el bosquejo de la red de unidades económicas eslabones de la cadena de suministro directa e inversa de AEE y RAEE se gana claridad respecto de las áreas donde se concentran, de su ubicación en áreas determinadas e incluso de sus prácticas y características. El análisis espacial abonó a la comprensión de cómo se están comportando actualmente las UE pertenecientes a las CSD y a la CSI de los AEE y RAEE

6. En la Ciudad de México no existe una cadena de suministro de ciclo cerrado, sí hay empresas eslabones de la cadena directa, por ejemplo, los comercializadores de AEE, y eslabones de la cadena inversa, por ejemplo, los reparadores de RAEE. Estas empresas eslabón pueden detonar la creación de otros y más eslabones, por ejemplo, los orientados en la recuperación, remanufactura y reciclado.
7. El marco de la planeación estratégica es el apropiado para la formulación de los modelos de negocio. Para el caso, enmarcó la evaluación del ámbito interno y externo, los cambios en la forma de hacer las cosas, y la visión hacia el futuro.
8. El análisis documental reveló qué se está haciendo respecto a modelos circulares para RAEE y qué normativas nacionales e internacionales existen sobre ello.
9. Las herramientas de innovación como el triángulo de la innovación y los arquetipos permitieron, como lo plantea su objetivo, considerar diferentes casos y hacer combinaciones para valorar los impactos internos y externos de modelos de negocio que se innovan o crean.
10. Las empresas reparadoras de RAEE prolongan el tiempo de vida de los aparatos de sus clientes, sin embargo, desconocen qué hacer con los residuos de la reparación y optan por tirarlos a la basura.
11. En el país se están impulsando políticas enfocadas a promover el cambio de economía lineal a circular, sin embargo, son un marco general que no considera aspectos puntuales de la valorización, para el caso la valorización de RAEE. El cambio es una labor en equipo, que involucra sociedad, empresas, investigadores y gobierno.
12. La EC es una alternativa para generar ganancias económicas, políticas y sociales mientras se cuida y se intenta preservar el medio ambiente. Es el salvavidas al que debemos aferrarnos para desacelerar el daño producido por años de explotación al ecosistema.
13. Es necesario actualizar la información respecto a la industria de electrónicos, la generación, el reciclaje y la recolección de RAEE y el consumo de AEE. Esto es un

reto difícil de resolver dado el número de empresas informales y personas dedicadas a la recolección y venta. En este sentido, son necesarias alternativas para formalizar la actividad.

14. Los modelos de negocio circulares son el paso que se tiene que dar hacia la Economía Circular. Para dar el paso, es necesario modificar o incluir una o varias prácticas. Para el caso, las empresas que reparan celulares, tablets y computadoras están desaprovechando la valorización de componentes que pudieran reacondicionarse o integrarse en nuevas cadenas.
15. Las operaciones logísticas de adquisición son fundamentales para la valorización de los residuos. Para el caso, las operaciones clave fueron: recolección, almacenamiento temporal y manejo de materiales.
16. Los consumidores juegan un papel muy importante en la transición hacia la Economía Circular. La aceptación de productos reacondicionados, remanufacturados, etc. es importante para la consolidación de una industria de la valorización. Además, los consumidores deberían participar activamente en el reciclaje, recuperación, etc. de sus residuos. Las empresas que se estudiaron en esta investigación tuvieron origen en la necesidad de sus clientes por la reparación de sus aparatos. En el mismo sentido, habría que retomar normativas orientadas a ampliar las responsabilidades de los consumidores por sus residuos.
17. La industria de los AEE debe empezar a implementar actividades y crear aparatos con materiales que prolonguen su tiempo de vida útil y que a su vez puedan ser aprovechados una vez que extingan por completo su tiempo en el equipo. El que existan aparatos que puedan ser más manipulables una vez que se vuelven RAEE ayuda a que las empresas que valorizan estos residuos puedan obtener su mayor valor posible, sin comprometer el medio ambiente y la salud. Esto se debe de lograr a base de incentivos que provoquen que las empresas tengan la intención de sumarse o mediante leyes, como existen en otros países, en donde existe la responsabilidad extendida del producto
18. Los modelos de negocio circulares de las empresas valorizadoras de RAEE abonan al cierre del ciclo de la cadena de suministro en la que definitivamente las circunstancias internas y externas del país jugaran un papel muy importante, en

donde habrá avances muy significativos, pero que por interacción que deben de tener muchos actores a la vez, también habrá retrocesos

Anexos

Anexo A.

Orientación	Preguntas
Sobre el negocio	<ul style="list-style-type: none">• ¿Cuál es la misión del negocio?• ¿Cuál es la actividad principal del negocio?• ¿Siempre se han dedicado a la reparación de celulares?• ¿Qué hizo que integraran esta actividad a su negocio?• ¿Qué más ofrece el negocio?• ¿Cuánto tiempo tiene de vida el negocio?• ¿Además de celulares, qué otro tipo de AEE trabaja?• ¿El negocio está asociada con recolectores o con otro tipo de UE?• ¿Qué tipo de tecnología usan?
Sobre el encargado	<ul style="list-style-type: none">• ¿Cuál es su función dentro del negocio?• ¿Qué se hace con los residuos que quedan y ya no pueden ser utilizados en algún otro equipo?• ¿Conoce el concepto de economía circular?• ¿Qué piensa de la EC?, ¿Le gustaría aplicar sus principios en su negocio?
Sobre los trabajadores	<ul style="list-style-type: none">• ¿Cuántos empleados tiene?• ¿Tiene alguna preparación para realizar el trabajo?• ¿Qué hacen con los sobrantes?
Sobre las prácticas circulares	<ul style="list-style-type: none">• Del marco de las 10 Rs, ¿Cuáles están implementando en el negocio?, ¿las conocen?• ¿Cuáles son las operaciones logísticas de adquisición con las que cuentan?• ¿Tienen alguna otra práctica circular?, ¿la tienen identificada)

Anexo B.

Criterio	Pregunta	Opciones de respuesta
Deseabilidad	Está de acuerdo con el segmento de clientes al que está dirigido	Respuesta abierta
	La propuesta de valor cubre las necesidades del cliente	Respuesta abierta
	La propuesta de valor es innovadora	Respuesta abierta
	La propuesta de valor podría ser atractiva para el cliente	Respuesta abierta
	Son adecuados los canales que se consideran en el MN	Respuesta abierta
	Es relevante el tipo de relación con el cliente para el MN	Respuesta abierta
Factibilidad	Las actividades clave que se consideran son relevante para cumplir con el propósito del MN	Respuesta abierta
	Los recursos clave que se consideran en el MN son importantes para su funcionamiento	Respuesta abierta
	Que tan importantes son los socios clave que considera el MN para su funcionamiento	Respuesta abierta
	Cree que es importante ampliar los tipos de RAEE que recibe	Respuesta abierta
Viabilidad	Considera redituable el MN	Respuesta abierta
	Está de acuerdo con los costos que se consideran	Respuesta abierta
	Considera que es un negocio que puede crecer	Respuesta abierta
General	Comentarios acerca del Modelo de Negocios	N/A

Bibliografía

Aagaard, A. (2019). *Sustainable Business Models: Innovation, Implementation and Success* (1st ed. 2019.). Springer International Publishing.

Ackah, M. (2017). Informal E-waste recycling in developing countries: review of metal(loid)s pollution, environmental impacts and transport pathways. *Environmental Science & Pollution Research*, 24(31), 24092–24101. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1007/s11356-017-0273-y>

Alastair Marke, Carmen Chan, Gozde Taskin, & Theo Hacking. (2020). Reducing e-waste in China's mobile electronics industry: the application of the innovative circular business models. *Asian Education and Development Studies*, 9(4), 591–610. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1108/AEDS-03-2019-0052>

Andeobu, L., Wibowo, S., & Grandhi, S. (2021). An assessment of e-waste generation and environmental management of selected countries in Africa, Europe and North America: A systematic review. *The Science of the Total Environment*, 792, 148078.

Andreini, D., & Bettinelli, C. (2017). Business model innovation: from systematic literature review to future research directions. Springer. https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1007/978-3-319-53351-3_3

Añez Jileana. (s.f.). Análisis comparativo. junio de 2022, de Economía 360 Sitio web: <https://www.economia360.org/analisis-comparativo/>

Bätz, K., & Siegfried, P. (2022). Reflecting on the Efficiency of Design Thinking and Lean Startup. *Journal of Intercultural Management*, 14(1), 4–53. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.2478/joim-2022-0001>

Bengel, R. D., Jr. (2020). *Electronic waste*. Salem Press Encyclopedia.

Besiou, M., Georgiadis, P., & Van Wassenhove, L. N. (2012). Official recycling and scavengers: Symbiotic or conflicting? *European Journal of Operational Research*, 218(2), 563–576. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1016/j.ejor.2011.11.030>

Cabrera, R. (2017). *Hydrometallurgy: applications, technology and research*. Nova Science Publishers.

Chen, L., & Gao, M. (2021). Formal or informal recycling sectors? Household solid waste recycling behavior based on multi-agent simulation. *Journal of Environmental Management*, 294.

Chen, L., & Gao, M. (2021). Optimizing strategies for e-waste supply chains under four operation scenarios. *Waste Management*, 124, 325–338. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1016/j.wasman.2021.02.012>

Chiavenato, I., Chiavenato, I., Sapiro, A., & Obón, P. (2017). *Planeación estratégica: fundamentos y aplicaciones* (Tercera edición). McGraw-Hill Interamericana.

Chopra, S., & Navarro Salas, R. (2020). *Administración de la cadena de suministro: estrategia, planeación y operación* (Sexta edición). Pearson Educación.

Clark Tim, Osrerwalder Alexander, & Pigneur Yves. (2013). *Tu modelo de negocio*. DEUSTO

Clausó García, A. (1993). Análisis documental: el análisis formal. *Revista General de Información y Documentación*, 3(1), 11. Recuperado 7 de junio de 2022, de <https://revistas.ucm.es/index.php/RGID/article/view/RGID9393120011A>

CLEVERCEL (s.f.). Agosto 2023. [Clevercel México - Celulares seminuevos al precio que necesitas](#)

Consejo Aragonés de Cámaras. (s.f.). *Estrategias y modelos de negocios circulares Cómo implantar un sistema circular en tu empresa*. junio 2022, de Consejo Aragonés de Cámaras
Sitio web: <http://economiacircular.camarasaragon.com/estrategias-y-modelos-de-negocios-circulares>

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos [Const.]. (2023, 6 de junio). Artículo 4. Diario Oficial de la Federación. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>

Cordova-Pizarro, D., Romero, D., Rodriguez, C. A., & Aguilar-Barajas, I. (2019). Circular economy in the electronic products sector: Material flow analysis and economic impact of cellphone e-waste in Mexico. *Sustainability (Switzerland)*, 11(5). <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.3390/su11051361>

Crespo Rodríguez, Aitor (2018). *Biorecuperación sostenible (Bioleaching) de cobre a partir de placas base de teléfonos móviles en desuso*.

Cruz-Sotelo, S. E., Velázquez-Victorica, K. I., Ojeda-Benítez, S., Sesma, J. J., Santillán-Soto, N., García-Cueto, O. R., Concepción, V. A., & Alcántara, C. (2017). E-waste supply chain in Mexico: Challenges and opportunities for sustainable management. *Sustainability (Switzerland)*, 9(4). <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.3390/su9040503>

Cruz-Sotelo, S. E., Ojeda-Benítez, S., Jáuregui-Sesma, J., Velázquez-Victorica, K. I., Santillán-Soto, N., García-Cueto, O. R., Alcántara-Concepción, V., & Alcántara, C. (2017). E-

Waste Supply Chain in Mexico: Challenges and Opportunities for Sustainable Management. Sustainability (2071-1050), 9(4), 503.

Daou, A., Mallat, C., Chammas, G., Cerantola, N., Kayed, S., & Saliba, N. A. (2020). The Ecocanvas as a business model canvas for a circular economy. Journal of Cleaner Production, 258. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1016/j.jclepro.2020.120938>

De Angelis, R. (2018). Business models in the circular economy: concepts, examples and theory. Palgrave Macmillan.

Decharat, S. (1), & Kiddee, P. (2). (n.d.). Health problems among workers who recycle electronic waste in southern Thailand. Osong Public Health and Research Perspectives, 1, 34–43 (2020).

Ferguson, M. E. & Souza, G. C. (2010). Closed-Loop Supply Chains: New Developments to Improve the Sustainability of Business Practices. Auerbach Publications.

Flores Choperena, Osca E. (2021). Innovación en el MODELO DE NEGOCIO. México, StartUp Path

Flores Choperena, Oscar E. (2022). Validación Ágil de Modelos de Negocio. México, StartUp Path

Foro Económico de Economía Circular. (s.f.). ¿Qué es la Economía Circular? junio 2022, de Foro Económico de Economía Circular Sitio web: <https://foroeconomiacircular.com/la-economia-circular/>

Forti V., Baldé C.P., Kuehr R., Bel G. Observatorio Mundial de los Residuos Electrónicos – 2020: Cantidades, flujos y potencial de la economía circular. Universidad de las Naciones Unidas (UNU)/Instituto de las Naciones Unidas para Formación Profesional e Investigaciones (UNITAR) – coorganizadores del programa SCYCLE, Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y Asociación Internacional de Residuos Sólidos (ISWA), Bonn/Ginebra/Rotterdam.

Fotheringham A. Stewart & Rogerson Peter A. (2009). The SAGE Handbook of Spatial Analysis. Los Angeles/London, New Delhi, Singapore: SAGE.

Fundación ECOLEC. (s.f). Economía Circular. Recuperado de: [Economía circular. Especial Ecolec | Reciclaje y gestión de RAEE](#)

Fundación Ellen Macarthur. (2014). Hacia una economía circular. Enero 2022, recuperado de:

https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/EMF_Spanish_exe_c_pages-Revise.pdf

Gassmann, O., Frankenberger, K., & Csik, M. (2014). *The Business Model Navigator*. Edinburgh Gate, United Kingdom: Pearson Education Limited.

Glauner, F. (2018). Innovación, modelos de negocio y catástrofe: reformulación del modelo mental para la gestión de la innovación. En: Altenburger, R. (eds) *Gestión de la Innovación y Responsabilidad Social Corporativa*. RSC, Sostenibilidad, Ética y Gobernanza. Springer, Cham. https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1007/978-3-319-93629-1_7

Goh, P. G. (1), Onn, C. C. (1), Maghfouri, M. (2), & Loo, S. C. (3). (2022). Life cycle assessment on recycled e-waste concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 17. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1016/j.cscm.2022.e01412>

Gobierno del Estado de México. (2019). NTEA-20-SeMAGEM-RS-2019: Norma Técnica Estatal Ambiental, para la instalación y operación de los centros integrales de residuos en el Estado de México. [nov121.pdf \(edomex.gob.mx\)](#)

Gobierno del Estado de México. (2021). NTEA-022-SeMAGEM-RS-2021: Norma Técnica Estatal Ambiental, que establece las especificaciones para la prestación del servicio de barrido de residuos sólidos urbanos, para el Estado de México. [EM-NT-NTEA-022-SEMAGEN-RS-2021-2022_01.pdf \(itesm.mx\)](#)

Gobierno de México. (1976). NMX-AA-031-1976: Determinación de azufre en desechos sólidos. [Microsoft Word - NMX-AA-031-1976.doc \(semarnat.gob.mx\)](#)

Gobierno de México. (1984). NMX-AA-92-1984: Protección Al Ambiente-Contaminación Del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Determinación De Azufre. [Microsoft Word - NMX-AA-092-1984.doc \(semarnat.gob.mx\)](#)

Gobierno de México (1992). NMX-AA-091-1987: Calidad del suelo terminología. [Aa091.PDF \(itesm.mx\)](#)

Gobierno de México. (1992). NMX-AA-16-1984: Protección Al Ambiente -Contaminación Del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Determinación De Humedad. [Aa016.PDF \(itesm.mx\)](#)

Gobierno de México. (1992). NMX-AA-19-1985: Protección Al Ambiente -Contaminación Del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Peso Volumétrico "In Situ". [Aa019.PDF \(itesm.mx\)](#)

Graciela Carrillo González, & Silvia Pomar Fernández. (2021). La economía circular en los nuevos modelos de negocio. *Entreciencias: Diálogos En La Sociedad Del Conocimiento*, 9(23).

Gran Castro, Juan Alberto & Bernache Pérez, Gerardo. (2016). Gestión de residuos sólidos urbanos, capacidades del gobierno municipal y derechos ambientales *Sociedad y Ambiente*, vol. 1, núm. 9, 2016, pp. 73-101

Greenpeace (2017). El peligro de los residuos electrónicos. noviembre 2021, de Greenpeace Sitio web: <https://www.greenpeace.org/argentina/el-peligro-de-los-residuos-electronicos/>

Grekousis, G. (2020). *Spatial analysis methods and practice: describe - explore - explain through GIS*. Cambridge University Press.

Guide, V. Daniel R., & Van Wassenhove, L. N. (2009). The Evolution of Closed-Loop Supply Chain Research. *Operations Research*, 57(1), 10–18. <https://doi.org.pbidi.unam.mx:2443/10.1287/opre.1080.0628>

Hornweg, Daniel; Bhada-Tata, Perinaz. (2012). What a waste: Global Review of Solid Waste Management. *Urban Development Series*, 15, 98. https://link-springer.com.pbidi.unam.mx:2443/chapter/10.1007/978-981-16-0913-8_16

HP. (s.f.). Programa HP Planet Partners-Reciclaje de suministros. Recuperado de <https://www.hp.com/mx-es/hp-information/recycling/ink-toner.html>

INEGI. (2018). Sistema de clasificación Industrial de América del Norte, México 2018-Clasificación Industrial Internacional Uniforme Rev. 4, CIIU Rev.4. México: INEGI.

INEGI (2023). Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) 2017- 2022. <https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/tic.aspx>

Instituto Federal de Telecomunicaciones (ift) (4 de julio de 2022). Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) 2021. <https://www.ift.org.mx/comunicacion-y-medios/comunicados-ift/es/encuesta-nacional-sobre-disponibilidad-y-uso-de-tecnologias-de-la-informacion-en-los-hogares-endutih>

Islam, M. T., & Huda, N. (2018). Reverse logistics and closed-loop supply chain of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)/E-waste: A comprehensive literature review. *Resources, Conservation & Recycling*, 137, 48–75. <https://doi.org.pbidi.unam.mx:2443/10.1016/j.resconrec.2018.05.026>

Jiménez Martínez, Nancy Merary. (marzo 2015). La gestión integral de residuos sólidos urbanos en México: entre la intención y la realidad. *Letras Verdes*, 17, 29-56

Jorge E. Calpa-Oliva. (2020). Validación de un modelo de logística inversa para la recuperación de los RAEE de la ciudad de Cali, basado en el Pensamiento Sistémico usando una simulación con Dinámica de Sistemas. *TecnoLógicas*, 23(48), 55–81. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.22430/22565337.1418>

Julian Kirchherr, Denise Reike, Marko Hekkert. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions, *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221-232.

Kaza, S; Yao, L; Bhada-Tata, P; & Van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. World Bank Publications.

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>

Kokkinos, K., Samaras, N., Karayannis, V., & Moustakas, K. (2023). Multi-scenario analysis on hydrogen production development using PESTEL and FCM models. *Journal of Cleaner Production*, 419. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1016/j.jclepro.2023.138251>

Ley General de Economía Circular [LGEC]. (2021). Sitio web: [Ini Morena Sen Monreal Ley Conomia Circular.pdf \(senado.gob.mx\)](Ini%20Morena%20Sen%20Monreal%20Ley%20Conomia%20Circular.pdf)

LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS [LGPGIR]. (2003). Diario Oficial de la Federación [D.O.], 8 de octubre de 2003 (Mex.). Sitio web: [Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos \(www.gob.mx\)](Ley%20General%20para%20la%20Prevenci%C3%B3n%20y%20Gesti%C3%B3n%20Integral%20de%20los%20Residuos)

Linder, M., & Williander, M. (2017). Circular Business Model Innovation: Inherent Uncertainties. *Business Strategy and the Environment*, 26(2), 182-196–196. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1002/bse.1906>

Liu, Y., Song, L., Wang, W., Jian, X., & Chen, W.-Q. (2022). Developing a GIS-based model to quantify spatiotemporal pattern of home appliances and e-waste generation—A case study in Xiamen, China. *Waste Management*, 137, 150–157.

MAXMOVIL. (s.f.). ¿Quiénes somos? Agosto 2023. <https://www.maxmovil.com/es/>

Mertens, W., Pugliese, A., & Recker, J. (2017). *Quantitative data analysis: a companion for accounting and information systems research*. Springer.

MickeyHoward, Xiaoyu Yan, Nav Mustafee, Fiona Charnley, Steffen Böhm, Stefano Pascucci. (2022). Going beyond waste reduction: Exploring tools and methods for circular economy adoption in small-medium enterprises, *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 221-232.

Monroy, N., & Ahumada, M. C. (2006). Logística Reversa: "Retos para la Ingeniería Industrial" / Reverse Logistics: "Challenges for Industrial Engineering." *Revista de Ingeniería*, 23, 23–33.

Munoz-Melendez, G., Delgado-Ramos, G.C., Diaz-Chavez, R. (2021). Circular Economy in Mexico. In: Ghosh, S.K., Ghosh, S.K. (eds) *Circular Economy: Recent Trends in Global Perspective*. Springer, Singapore. https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1007/978-981-16-0913-8_16

Muñoz Portero, María José (2016). Extracción de metales por pirometalurgia: Procesamiento de hierro, acero, cobre y aluminio. Universidad Politécnica de Valencia.

N Fitrihana, Mohammad Adam Jerusalem, & Triyanto. (2019). Bussines model canvas of teaching factory fashion design competency Vocational High School in Yogyakarta. *Journal of Physics: Conference Series*, 1273, 012049.

Oestreicher, V., García, C. S., Pontiggia, R., Rossi, M. B., Angelomé, P. C., & Soler-Illia, G. J. A. A. (2020). E-waste upcycling for the synthesis of plasmonic responsive gold nanoparticles. *Waste Management* (New York, N.Y.), 117, 9–17. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1016/j.wasman.2020.07.037>

Olaya, Víctor (2012). *Sistemas de Información Geográfica*, Tomo I.

Ossa Arias, M. del M., & González Martínez, S. (2020). Efecto de la carga orgánica sobre la producción de metano y características de digestatos durante la digestión anaerobia de forsu.

Parajuly, K.; Kuehr, R.; Awasthi, A. K.; Fitzpatrick, C.; Lepawsky, J.; Smith E.; Widmer, R.; Zeng, X. (2019). *Future E-waste Scenarios*; StEP (Bonn), UNU ViE-SCYCLE (Bonn) & UNEP IETC (Osaka)

Parlamento Europeo. (2015). Economía circular: definición, importancia y beneficios. junio 2022, de Noticias Parlamento Europeo Sitio web: <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios#:~:text=Econom%C3%ADa%20circular%20La%20econom%C3%ADa%20circular>

[%20es%20un%20modelo.ciclo%20de%20vida%20de%20los%20productos%20se%20extiende.](#)

Parthsarathy, P., Bulbule, K.A. (2017). Reciclaje de residuos electrónicos es la mejor opción para la sustitución de minerales y la protección del medio ambiente. *J Geol Soc India* 89, 221.

Pehlken A., Kalverkamp M., Wittstock R. (2019). *Cascade Use in Technologies 2018*. Berlin, Germany: Springer Vieweg.

Peña-Montoya, C. C., Osorio-Gómez, J. C., Vidal-Holguín, C. J., Torres-Lozada, P., & Marmolejo-Rebellón, L. F. (2015). Gestión De Residuos Sólidos en Cadenas De Suministro De Ciclo Cerrado Desde La Perspectiva De La Investigación De Operaciones. *Revista Luna Azul*, 41, 5–28. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.17151/luaz.2015.41.2>

Pereira, S. G. M., dos Santos Medina, F. A., Gonçalves, R. F., & da Silva, M. T. (2016). System thinking and business model canvas for collaborative business models design (Vol. 488). Springer New York LLC. https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1007/978-3-319-51133-7_55

Piotr Nowakowski, Bogna Mrówczyńska. (2018). *Towards sustainable WEEE collection and transportation methods in circular economy - Comparative study for rural and urban settlements, Resources, Conservation & Recycling*, 135, 93-107. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917304470>

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. (2016). LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS. Diciembre de 2021, de PROFEPA Sitio web: <https://www.gob.mx/profepa/documentos/ley-general-para-la-prevencion-y-gestion-integral-de-los-residuos-62914>

Publimetro. (2017). ¿Cada cuánto se tienen que cambiar de celular? Noviembre 2021. Recuperado de: <https://www.publimetro.com.mx/mx/tecnologia/2017/08/06/cuanto-se-debe-cambiar-celular.html>

Raffaele Isernia, Renato Passaro, Ivana Quinto, & Antonio Thomas. (2019). The Reverse Supply Chain of the E-Waste Management Processes in a Circular Economy Framework: Evidence from Italy. *Sustainability*, 8, 1.

Rautela, R., Arya, S., Vishwakarma, S., Lee, J., Kim, K.-H., & Kumar, S. (2021). E-waste management and its effects on the environment and human health. *The Science of the Total Environment*, 773, 145623.

RECILEC. (s.f.). Sobre nosotros. Agosto 2023. <http://www.recilec.com>

Reséndiz H. (2022). Apuntes de Sistemas de Información Geográfica. Posgrado Facultad de Ingeniería UNAM

Responsabilidad Social Empresarial y Sustentabilidad (RSyS). (2014). Punto verde, reciclaje integral y responsable de los residuos electrónicos. Noviembre 2021. Recuperado de <https://responsabilidadsocial.net/punto-verde-reciclaje-integral-y-responsable-de-los-residuos-electronicos/>

Reverse Logistics Association (s.f.). What is Reverse Logistics? Components of the Reverse Logistics Ecosystem. Consulta mayo de 2022. <https://rla.org/site/about>

Reverse Logistics Group (RLG). (2015). Plan Colectivo RLGA-Manejo integral de los RAEE en México. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/190022/Plan_colectivo_RLGA_Manejo_integral_de_los_RAEE_en_Mexico.pdf

Ruiz Camou, C. R., & Castro Carranza, A. (2020). Reciclaje de indio mediante lixiviación ácida a partir de LCD de RAEE.

Safdar, N., Khalid, R., Ahmed, W., & Imran, M. (2020). Reverse logistics network design of e-waste management under the triple bottom line approach. *Journal of Cleaner Production*, 272.

Samsung. (s.f.). Centro de Servicios Samsung-Precios de reparación. Agosto 2023. Sitio web: <https://www.samsung.com/mx/centro-de-servicio-samsung/>

Sánchez B. (2022). Sistemas y Planeación. Convergencia de las decisiones y las acciones en Ingeniería. Facultad de Ingeniería UNAM

Sánchez L. (2022). Apuntes de Metodología de la planeación “Tema5: De lo que es estratégico y la Planeación Estratégica”. Posgrado Facultad de Ingeniería

Sánchez-Lara, B. (2019). Los fundamentales de la planeación. Capítulo 2. En “Sistemas y Planeación. Convergencia de las decisiones y acciones en Ingeniería” pp.26-47

Sánchez-Lara, B. (2019). Operaciones Logísticas de Transporte. Documento de trabajo. Departamento de Ingeniería de Sistemas. Facultad de Ingeniería, UNAM.

Sánchez Lara. (s.f.). Operaciones Logísticas de Adquisición. Documento de trabajo. Departamento de Ingeniería de Sistemas. Facultad de Ingeniería, UNAM.

Sánchez-Muñoz, M., Cruz-Cerón, J., & Maldonado-Espinel, P. (2020). Gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina: Un análisis desde la perspectiva de la generación. *Revista Finanzas Y Política Económica*, 11(2), 321-336.

Schroth, S. T., PhD. (2022). *Grounded theory*. Salem Press Encyclopedia.

Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA CDMX). (s.f.). Ponte Pilas con tu Ciudad. Noviembre 2021. Recuperado de <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/ponte-pilas-con-tu-ciudad>

SEDEMA CDMX. (s.f.). RECICLATRÓN. Noviembre 2021. Recuperado de <http://data.sedema.cdmx.gob.mx/reciclatron/>

SEDEMA CDMX. (2020). NADF-019-AMBT-2018: Residuos Eléctricos Y Electrónicos – Requisitos Y Especificaciones Para Su Manejo. [NADF-019-AMBT-2018.pdf \(cdmx.gob.mx\)](#)

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2003). NOM-083-SEMARNAT-2003: Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Sitio web: [La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales por conducto del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Amb \(semarnat.gob.mx\)](#)

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2004). NOM-098-SEMARNAT-2002: Protección ambiental-Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes. Sitio web: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD02/DO345.pdf>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2006). NOM-052-SEMARNAT-2005: Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. [Microsoft Word - DOF-LEYSDMARNYP-2.doc \(semarnat.gob.mx\)](#)

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2014). NOM-161-SEMARNAT-2011: Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. Sitio web: [20 y 22.- ACUERDO POR EL QUE SE MODIFICA LA NOM-161-SEMARNAT-2011.pdf \(www.gob.mx\)](#)

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2015). Convenio de Estocolmo. Diciembre 2021, de SEMARNAT Sitio web: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/convenio-de-estocolmo>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2015). Convenio de Basilea. Diciembre 2021, de SEMARNAT Sitio web: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/convenio-de-basilea>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2015). Convenio de Róterdam. Diciembre 2021, de SEMARNAT Sitio web: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/convenio-de-rotterdam#:~:text=El%20Convenio%20de%20R%C3%B3terdam%20fue%20aprobado%20el%2011,a%20partir%20del%202%20de%20agosto%20de%202005.>

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

SEMARNAT. (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, Primera edición. Disponible en <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/555093/DiagnosticoBasicoGestionIntegralResiduosF.pdf.pdf>

SEMARNAT. (2018). Buenas prácticas para el manejo integral y ambientalmente adecuado de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos: Generación. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Proyecto #92723 “Manejo Ambientalmente Adecuado de Residuos con Contaminantes Orgánicos Persistentes” (ResiduosCOP). México.

SEMARNAT. (2019). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, edición 2018. SEMARNAT. México.

Sunil Kumar, Rakesh Kumar and Ashok Pandey. (2019). Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Waste Treatment Processes for Energy Generation. -: Elsevier

Takyi, S. A., Basu, N., Arko-Mensah, J., Dwomoh, D., Houessionon, K. G., & Fobil, J. N. (2021). Biomonitoring of metals in blood and urine of electronic waste (E-waste) recyclers at Agbogbloshie, Ghana. Chemosphere, 280, 130677.

Telcel (s.f.). Tú puedes reciclar tu celular y formar parte del llamado del planeta. Recuperado de <https://www.telcel.com/empresas/tendencias/notas/reciclar-tu-celular-forma-parte-llamado-planeta>

Tipre, D.R., Khatri, B.R., Thacker, S.C. et al. (2021). The brighter side of e-waste—a rich secondary source of metal. *Environ Sci Pollut Res* 28, 10503–10518.

Van Fan, Y., Klemes, J. J., & Lee, C. T. (2021). Roles of E-waste in a Circular Economy: EU-27. 2021 6th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech), Smart and Sustainable Technologies (SpliTech), 2021 6th International Conference On, 1–4.

Vera-Romero, I., Estrada-Jaramillo, M., Martínez-Reyes, J., & Ortiz-Soriano, A. (2015). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica: Parte II: residuos sólidos urbanos / Potential of Power Generation from Biogas: Part II: Municipal Solid Waste. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 16(3), 471–478

Veretennikova, N., & Vaskiv, R. (2018). Application of the Lean Startup Methodology in Project Management at Launching New Innovative Products. 2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference On, 2, 169–172. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1109/STC-CSIT.2018.8526731>

Vishwakarma, S., Kumar, V., Arya, S., Tembhare, M., Rahul, Dutta, D., & Kumar, S. (2022). E-waste in Information and Communication Technology Sector: Existing scenario, management schemes and initiatives. *Environmental Technology & Innovation*, 27. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1016/j.eti.2022.102797>

Wang, J., Li, W., Mishima, N., & Adachi, T. (2022). Exploring the optimal reverse supply chain for e-waste treatment under Chinese government subsidy. *Waste Management*, 137, 128–138. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1016/j.wasman.2021.10.031>

Xue, Y., Wen, Z., Bressers, H., & Ai, N. (2019). Can intelligent collection integrate informal sector for urban resource recycling in China? *Journal of Cleaner Production*, 208, 307–315.

Yu, Y., Xu, J., Zhang, J. Z., Wu, Y., & Liao, Z. (2022). Do circular economy practices matter for financial growth? An empirical study in China. *Journal of Cleaner Production*, 370. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1016/j.jclepro.2022.133255>

Zeng, X., Song, Q., Li, J., Yuan, W., Duan, H., & Liu, L. (2015). Solving e-waste problem using an integrated mobile recycling plant. *Journal of Cleaner Production*, 90, 55–59.