

**PROPUESTA DE MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS EN UNA RED DE
LOGÍSTICA INVERSA DE BATERÍAS DE PLOMO-ÁCIDO QUE PERMITA EVALUAR
LOS RIESGOS FÍSICOS Y EL IMPACTO AL MEDIOAMBIENTE Y LA SALUD**

JUAN SEBASTIÁN MONTEALEGRE AVENDAÑO - 201357488

JULIO RAFAEL LOAIZA- 201366723



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL
2019**

**PROPUESTA DE MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS EN UNA RED DE
LOGÍSTICA INVERSA DE BATERÍAS DE PLOMO-ÁCIDO QUE PERMITA EVALUAR
LOS RIESGOS FÍSICOS Y EL IMPACTO AL MEDIOAMBIENTE Y LA SALUD**

JUAN SEBASTIÁN MONTEALEGRE AVENDAÑO - 201357488

JULIO RAFAEL LOAIZA- 201366723

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero industrial

Directora:

Msc. Vivían Lorena Chud Pantoja

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ZARZAL

2019

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	7
1.1	GENERALIDADES DEL PROBLEMA.....	8
1.1.1	Antecedentes del problema.....	8
1.1.2	Planteamiento del problema.....	8
1.1.3	Formulación del Problema.....	11
1.2	JUSTIFICACIÓN.....	11
1.3	OBJETIVOS.....	12
1.3.1	Objetivo General.....	12
1.3.2	Objetivos Específicos.....	12
1.4	Marco de referencia.....	12
1.5	DISEÑO METODOLÓGICO.....	13
2	CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE RECOLECCIÓN DE BATERÍAS.....	14
3	IDENTIFICACION DE VARIABLES DE LA LOGÍSTICA INVERSA DE LAS BATERÍAS.....	18
3.1	VARIABLES DE NIVEL DE LA LOGÍSTICA INVERSA.....	18
3.2	VARIABLES DE FLUJO DE LA LOGÍSTICA INVERSA.....	21
3.3	VARIABLES AUXILIARES DE LA LOGÍSTICA INVERSA.....	23
4	PLANTEAMIENTO Y SIMULACION DEL MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS	
	26	
4.1	DIAGRAMA CAUSAL DEL PROCESO DE LAS BATERÍAS DE PLOMO-ÁCIDO	
	27	
4.2	DIAGRAMA FORRESTER DE LA LOGISTICA INVERSA.....	29
4.3	SIMULACIÓN DEL MODELO.....	33
5	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO.....	35
	CONCLUSIONES.....	38
	FUTURAS INVESTIGACIONES.....	39
	BIBLIOGRAFIA.....	40
	ANEXOS.....	44

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición batería plomo-ácido.....	8
Tabla 2. Impactos de las malas disposiciones de baterías plomo -ácido.....	9
Tabla 3. Variables de nivel.....	18
Tabla 4. Variables de flujo.....	20
Tabla 5. Variables auxiliares y medioambientales.....	23
Tabla 6. Datos Iniciales.....	31

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología propuesta para la evaluación sistémica del impacto ambiental de la logística inversa de baterías.....	13
Figura 2. Componentes de la batería de plomo-acido.....	14
Figura 3. SIPOC general del proceso de elaboración de baterías.....	16
Figura 4. Diagrama Causal.....	29
Figura 5. Diagrama de Forrester.....	30
Figura 6. La cantidad de baterías recolectadas.....	32
Figura 7. La cantidad de baterías a ser reprocesadas.....	32
Figura 8. Afectación generada al medioambiente y a las personas por plomo.....	33
Figura 9. Comportamiento materia prima.....	33
Figura 10. Baterías en centros de acopio.....	35
Figura 11. Afectación al medio ambiente- suelo.....	35
Figura 12. Afectación a las personas por plomo.....	35
Figura 13. Baterías a ser reprocesadas.....	35
Figura 14. Baterías recolectadas por talleres clandestinos.....	36

1 INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos siguen constituyendo actualmente uno de los más serios problemas ambientales, derivados de las actividades productivas, del consumo y la obsolescencia programada en los productos, debido principalmente a que la cantidad de residuos que se generan siguen aumentando año tras año. Se estima que la generación de residuos en la zona urbana y rural podría llegar a 18,74 millones de toneladas en el año 2030, lo que significa cerca de 321 kilogramos por persona al año o un incremento del 13,4% en la producción per cápita de residuos sólidos (Hoyos, Hincapié, Marín, Jiménez, & Valencia, 2013).

En este sentido, se encuentran residuos sólidos peligrosos como las baterías de automóviles que contienen metales como el mercurio, plomo y cadmio que generan problemas en el medio ambiente y la población causando diferentes tipos de cáncer, anemias, lesiones pulmonares, disturbios hematológicos, disfunciones renales, hepáticas y respiratorias; malformaciones, dermatitis, dolores estomacales, disturbios en el hígado, necrosis de la médula ósea, hígado y riñones, daños a la piel, malformaciones o anomalías en el feto así como disfunción en el aparato reproductor masculino (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013).

El consumo de baterías en el mundo va en constante crecimiento, por lo tanto, la producción de baterías está estableciendo un nuevo récord año tras año. Según las estadísticas, la producción y el uso de baterías en todo el mundo ha aumentado más del 20% en los últimos 2 años (Shi, Xia, & Lili, 2012). En Colombia hace 10 años, se compraban 100.000 vehículos nuevos (cada uno con su respectiva batería) y hoy la cifra es cercana a los 300.000 (ANDEMOS, 2017). Esto permite concluir que el consumo de baterías también está en continuo aumento y dada la restringida duración de este elemento, la generación de residuos sólidos peligrosos crece exponencialmente.

Dado que las baterías cuentan con una vida útil de entre 12 y 18 meses, y que en Colombia a la fecha, la gran mayoría de residuos sólidos peligrosos no son dispuestos adecuadamente y un porcentaje muy bajo de municipios del país cuenta con sitios de disposición final adecuados (Departamento Nacional de Planeación, 2016), se hace necesario pensar en disminuir o mitigar esta problemática ambiental, una de las alternativas es un sistema de logística inversa, puesto que esta busca mitigar el impacto al medio ambiente, a la salud y a todo el planeta, generando conciencia en empresas y consumidores, además de minimizar costos de materias primas, ya que se encarga de la recolección de productos cuando estos ya han terminado su vida útil (Selcuk, Cebeci, & Batuhan, 2015). Sin embargo, esto puede generar riesgos que deben analizarse y evaluarse.

Hasta el momento no se han encontrado autores que estudien y/o analicen esta problemática ambiental desde el punto de vista de la dinámica de sistemas, por eso, este trabajo presenta una propuesta de simulación dinámica para evaluar los riesgos ambientales que se presentan en un sistema de logística inversa de baterías.

1.1 GENERALIDADES DEL PROBLEMA

1.1.1 Antecedentes del problema

Según el Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible [CITATION Min17 \l 9226] a lo largo del tiempo múltiples entidades se han preocupado por el medio ambiente y por la reutilización de baterías-plomo ácido.

La primera organización que trabaja con la correcta utilización y reutilización de baterías plomo ácido es el Ministerio de Ambiente quien cuenta con registros de todos los automóviles en el país y su sistema es el posconsumo.

El principio básico del posconsumo de baterías usadas es recibirlas en talleres, servitecas, almacenes de repuestos y sitios formales, donde se venden baterías para vehículos que hayan sido escogidos por los programas posconsumo.

1.1.2 Planteamiento del problema

La problemática generada con el paso del tiempo y con el aumento poblacional esto representado al aumento exorbitante de los residuos que se generan de las actividades cotidianas se está volviendo algo imposible de manejar teniendo cuenta la poca importancia que se le da. Los residuos sólidos son tan antiguos como la humanidad misma y son producidos por las distintas actividades de las personas. A medida que el ser humano se asentó conformando aldeas y se concentró en las ciudades, el problema de generación de residuos sólidos se fue tornando más agudo debido a que su acumulación fue mayor; en consecuencia, las enfermedades y los animales que las propagaban fueron proliferando.(Ministerio del medio ambiente, 2013). En la actualidad la adquisición de elementos que brinden comodidad y faciliten las labores del ser humano se han convertido en una necesidad, claro está, sin tener en cuenta la disposición final que se le da a estos residuos.

La tabla 1 muestra la composición total de una batería con sus respectivos componentes. Esto permitiendo así conocer qué es de lo que está conformado una batería de este tipo. Además de permitir conocer en qué porcentaje está compuesto por agentes peligrosos para el ser humano y el medio ambiente.

Teniendo como referencia que el plomo que es el causante de todos estos problemas es el que ocupa un mayor porcentaje.

Tabla 1. Composición batería plomo-ácido

PARTE DE LA BATERÍA	MATERIALES	PORCENTAJE (%)	PESO(gramos)
REJILLA	Plomo	16	2880
	Estaño	4	720
	Calcio	4	720
	Oxido de plomo	6	1080
	Lamina de calcio	12	2160
PLACAS	Oxido de plomo	2	360
	Estaño	4	720
	Calcio	4	720
PLACAS POSITIVAS	Peróxido de plomo(Pb O2)	2	360
PLACAS NEGATIVAS	Plomo esponjoso	2	360
SEPARADORES	Polietileno	4	720
ELECTRÓLITO	Ácido sulfúrico(H2SO4)	15	2700
	Agua desmineralizada	6	1080
CAJA DE LA BATERÍA	Polipropileno	4	720
TAPON	Polipropileno	4	720
CONECTORES	Polipropileno	2	360
	Plomo-cobre	9	1620
TOTAL		100	18000
PESO DE UNA BATERÍA			18000

Fuente: Johnson Controls, 2018

Se tiene la presente que las baterías son altamente peligrosas dados los elementos que la componen tales como el plomo, oxido de plomo ácido sulfúrico entre otros. Aunque estas también tienen múltiples usos en la vida diaria, una vez utilizadas, y desechadas es decir, cuando su vida útil ha llegado a su fin, se vuelven en contra del medio ambiente, causando también problemas en las personas (CISTEMA, 2013). Por esto, se considera que la gestión de los residuos de baterías representa un problema ambiental de difícil abordaje (Greenpeace, 2010).

Entre los impactos más representativos se destacan: signos de envenenamiento, perturbación del sistema nervioso, incremento de la presión sanguínea, daño a los riñones, daño al cerebro, abortos espontáneos, perturbación de la biosíntesis de hemoglobina, perturbación en el comportamiento de los niños. Además el plomo se acumula en los cuerpos de agua causando envenenamientos en los organismos acuáticos y terrestres (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013). Teniendo en cuenta lo previamente mencionado, se presenta a continuación los posibles impactos que puede generar la mala disposición de las baterías de plomo-ácido luego de terminar su ciclo de vida

Tabla 2. Impactos de las malas disposiciones de baterías plomo -acido

Salud Humana	Medio Ambiente
Signos de envenenamiento	El plomo se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y organismos del suelo, Estos experimentarán efectos en su salud y envenenamiento por plomo.
Perturbación del sistema nervioso	
Incremento de la presión sanguínea	
Daño a los riñones	Las baterías se convierten en un residuo tóxico y sus componentes químicos-tóxicos se modificarán en el ambiente, volviéndose en algunos casos, incluso más tóxicos. Además, la mala destrucción produce gases venenosos que son emitidos a la atmósfera, convirtiéndose en gases de efecto invernadero.
Daño al cerebro	
Abortos espontáneos	
Disminución de la capacidad de aprendizaje en los niños	

Fuente: (Organización mundial de la salud, 2014)

Aproximadamente un 85% del consumo mundial de plomo, es decir más de tres cuartos partes corresponden a la fabricación de baterías de plomo-ácido para vehículos de motor (Organización mundial de la salud, 2014), en Colombia se consumen alrededor de 2 millones de baterías de vehículos al año. La compañía Johnson Controls Colombia, dueña de marcas como MAC y VARTA, lidera el mercado con una participación de más del 60%, la multinacional que a nivel mundial vende más de 150 millones de baterías al año, tiene en el Valle del Cauca uno de sus centros de operaciones más importantes con una producción de 4 millones de unidades al año, volumen del cual exporta el 70% (J. Ospinal, comunicación personal, 7 de septiembre de 2019)

Según datos de 2015, la exposición al plomo causó 494 550 muertes y la pérdida de 9,3 millones de años de vida ajustados en función de la discapacidad (AVAD) debido a sus efectos a largo plazo en la salud. La mayor carga corresponde a los países de ingresos bajos y medianos. El Instituto estimó asimismo que la exposición al plomo fue responsable del 12,4% de la carga mundial de discapacidad del desarrollo intelectual idiopático, del 2,5% de la carga mundial de cardiopatía isquémica, y del 2,4% de la carga mundial de accidentes cerebrovasculares (Organización mundial de la salud, 2017).

Por otro lado, la emisión de plomo de la combustión de la nafta es otra fuente importante de exposición. Se calcula que un automóvil libera a la atmósfera alrededor

de 2,5 kilogramos de plomo al año, en los EE.UU. datos del NHANES III (The National Health and Nutrition Examination Surveys), indican que 1.7 millones de niños (alrededor del 9%) están intoxicados por plomo.

Para estas situaciones los principales autores o personas involucradas en el tema recomiendan la logística inversa la cual estudia los procesos de recuperación de productos que ya no se usan para aprovechar su valor a través del reciclaje, reutilización o correcta eliminación considerando elementos de minimización de impacto ambiental.

1.1.3 Formulación del Problema

Teniendo presente lo mencionado anteriormente, se genera la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo un modelo de dinámica de sistemas en una red de logística inversa de baterías de plomo-ácido permite evaluar los riesgos físicos y el impacto al medioambiente y la salud presentes en el proceso de recolección y reutilización?

1.2 JUSTIFICACIÓN

El impacto que generan las baterías en el medio es muy grande estos elementos poseen dos sustancias peligrosas: el electrolito ácido y el plomo. El primero es corrosivo, tiene alto contenido de plomo disuelto y en forma de partículas, y puede causar quemaduras en la piel y en los ojos. En tanto, el plomo es altamente tóxico para la salud humana, ingresa al organismo por ingestión o inhalación y se transporta por la corriente sanguínea acumulándose en todos los órganos, especialmente en los huesos.

El plomo de las baterías usadas suele ser reinsertado en el mercado por los trabajadores informales, quienes lo revenden; no obstante, en el proceso de extracción de este tóxico se envía a los drenajes o a la tierra el ácido, lo que deriva en contaminación grave tanto para el medio ambiente como para su persona, su familia y sus vecinos.

Además, la exposición prolongada al plomo puede provocar anemia y problemas en el sistema nervioso central, cuyas consecuencias van desde sutiles cambios psicológicos y de comportamiento hasta graves efectos neurológicos, sostuvieron los científicos en su trabajo, también genera intoxicación a partir de la inhalación. Los primeros síntomas son fatiga, jaqueca, dolores en las articulaciones y los músculos, pérdida de memoria y de apetito. (Guzmán & Avenda, 2012)

En tanto, la prolongada inhalación de plomo puede provocar desde diarrea, dolores agudos en el abdomen, convulsiones y delirio hasta el estado de coma y fallecimiento.

Asimismo, puede perjudicar la formación del feto en las mujeres embarazadas y producir trastornos en los niños, tales como problemas neuropsíquicos.

Por otro lado, se tiene que el auge de la importancia de la logística inversa ha sido originado, entre otros factores, por la creciente preocupación social por el medioambiente y por el consumidor; que cada vez tiene mayor conocimiento, demanda una atención, productos y servicios personalizados, que las empresas deben ofrecer si quieren mantenerse en un mercado competitivo. Algunas de las ventajas de realizar una buena logística inversa en una empresa son que contribuye a reducir el impacto medioambiental; permite ahorrar en costos ya que se sustituyen materias primas por material reciclado y genera nuevas fuentes de ingresos.

Por lo anterior, se considera muy importante realizar un estudio de análisis sistémico del impacto ambiental que genera la logística inversa de baterías.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un modelo de dinámica de sistemas en una red de logística inversa de baterías de plomo-ácido que permita evaluar los riesgos físicos y el impacto al medioambiente y la salud presentes en el proceso de recolección y reutilización.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar el proceso de recolección de baterías en general, con el fin de analizar los elementos que conforman un sistema de red de logística inversa de baterías.
- Identificar las variables presentes en el proceso de logística inversa de baterías y la relación que existe entre ellas.
- Plantear y simular el modelo de dinámica de sistemas que integre los factores críticos de riesgo y ambientales identificados en el diagnóstico.
- Realizar el análisis de sensibilidad del modelo a través de la variación de parámetros de interés.

1.4 Marco de referencia

Se identificaron diferentes autores que han estudiado sistemas de baterías y el impacto en el medio, los cuales fueron considerados como una base para este estudio, a continuación se presentan algunos de ellos:

Dost (2016) desarrollaron un modelo de batería basado en plomo-ácido generalizado utilizado para un sistema de gestión de batería. Por su parte, Liu, Yu, Jin, & Wang (2017) analizaron el tiempo de descarga residual de plomo-ácido, también Hao et al., (2018) presentan una revisión de los aditivos de electrodos positivos en baterías de plomo-ácido.

Otros estudios que fueron referentes por el uso de dinámica de sistemas en modelos relacionados con la evaluación del impacto ambiental de la producción y logística inversa de llantas usando dinámica de sistemas como lo hizo Camargo, Franco, Chud, & Osorio, (2017), y con el transporte son los de (Forero, 2011) quien analiza bajo una mirada de dinámica de sistemas el transporte público colectivo en Bogotá.

También se encontró una investigación sobre la evaluación de escenarios de mercado en logística inversa de automóviles: un enfoque de dinámica de sistemas (Ravi, Shankar, & Tripathi, 2011) y el impacto de la logística inversa en la gestión de la cadena de suministro verde mediante un análisis de la dinámica del sistema (Mutingi, 2014).

1.5 DISEÑO METODOLÓGICO

La identificación de todas las variables que influyen en el proceso de logística inversa de baterías se realizará por medio de un levantamiento de información de fuentes primarias tales como entrevistas semiestructuradas a personas relacionadas directamente con el sistema y consulta de casos existentes de empresas que manejan este tema. También se tuvieron en cuenta como fuentes secundarias, así como revisión de artículos científicos, páginas en sitios web y revistas afines. Esta metodología da la oportunidad de comparar los procesos y métodos que se utilizan actualmente para manejar el tema de la logística inversa de baterías reales con lo encontrado en literatura.

Para realizar la caracterización del proceso de recolección de baterías primero se identificaron los actores relacionados en el proceso y las diferentes variables del proceso, para esto se utilizó la herramienta SIPOC.

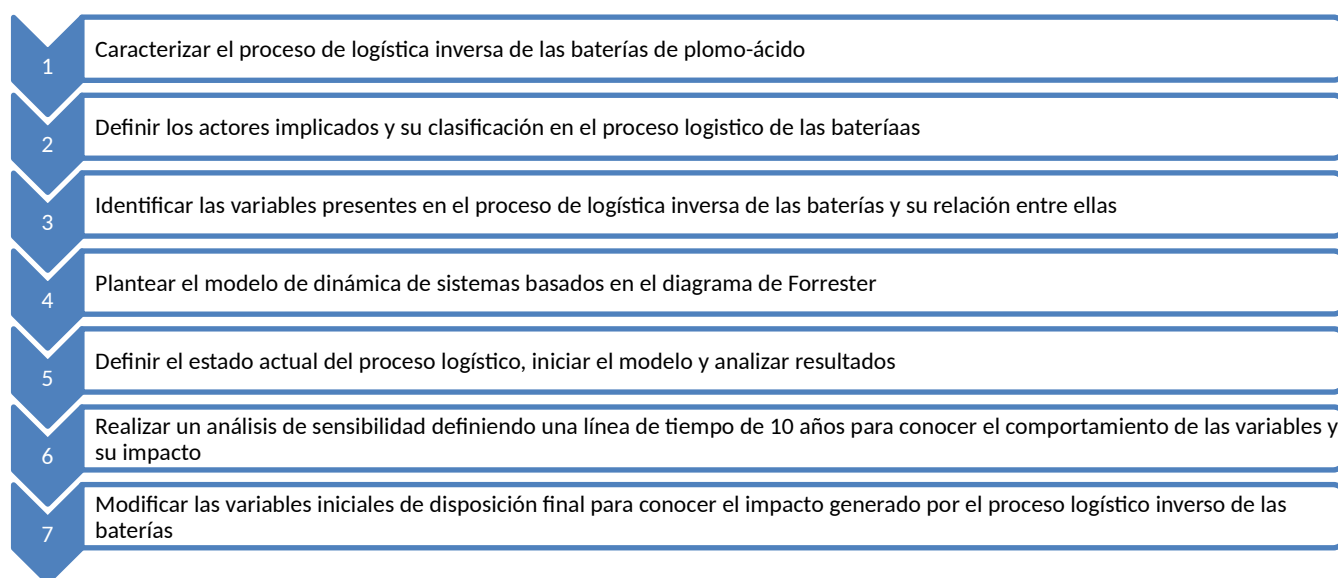
Para el segundo objetivo, se identificarán las variables de flujo, de nivel, auxiliares y medioambientales que se relacionan en el proceso de logística inversa, donde se plantean todas las características, relaciones y atributos tanto en los riesgos físicos como en la mitigación del impacto ambiental, después de tener las variables que influían en el proceso, se desarrolló un diagrama causal y posteriormente un diagrama Forrester. Esta propuesta surge a partir de la experiencia de los diferentes actores, del esquema conceptual y la definición de lo que se quiere medir y a donde se debe llegar. Posteriormente, se identifica y definen los indicadores tenidos en cuenta para el sistema de logística inversa de baterías, utilizando el Diagrama de Forrester.

Se utilizará el Software Vensim, software de creación de modelos de simulación de Ventana Systems, el cual permitirá conceptualizar, construir, simular, analizar, optimizar y desarrollar el modelo de sistemas dinámicos. Además, tiene un aspecto visual de su pantalla de trabajo muy simple que permite un uso fácil a las herramientas de creación de los modelos y de la simulación y análisis de los resultados, con una gran velocidad

de trabajo y calidad de sus resultados. Este modelo permitirá evaluar los riesgos físicos y ambientales presentes en el proceso de recolección y reutilización y su evolución con el paso del tiempo de 10 años.

Finalmente, para darle solución al último objetivo se realizará un análisis de sensibilidad, debido a que hay que tener en cuenta que los cambios del entorno y de las variables estimadas no se pueden predecir con exactitud, pero si estimar los posibles cambios y el impacto de estos. Teniendo como base los datos históricos y el comportamiento esperando del uso de baterías validado de forma estadística, se esperará conocer el comportamiento de cómo afectaría el uso o el mal uso de las baterías cuando termina su ciclo de vida, considerando también su disposición final. A continuación, se presenta en la figura 1 la metodología que contiene las actividades a realizar para la evaluación sistémica del impacto ambiental de logística inversa de baterías.

Figura 1. Metodología propuesta para la evaluación sistémica del impacto ambiental de la logística inversa de baterías



Fuente: Elaboración propia, 2019

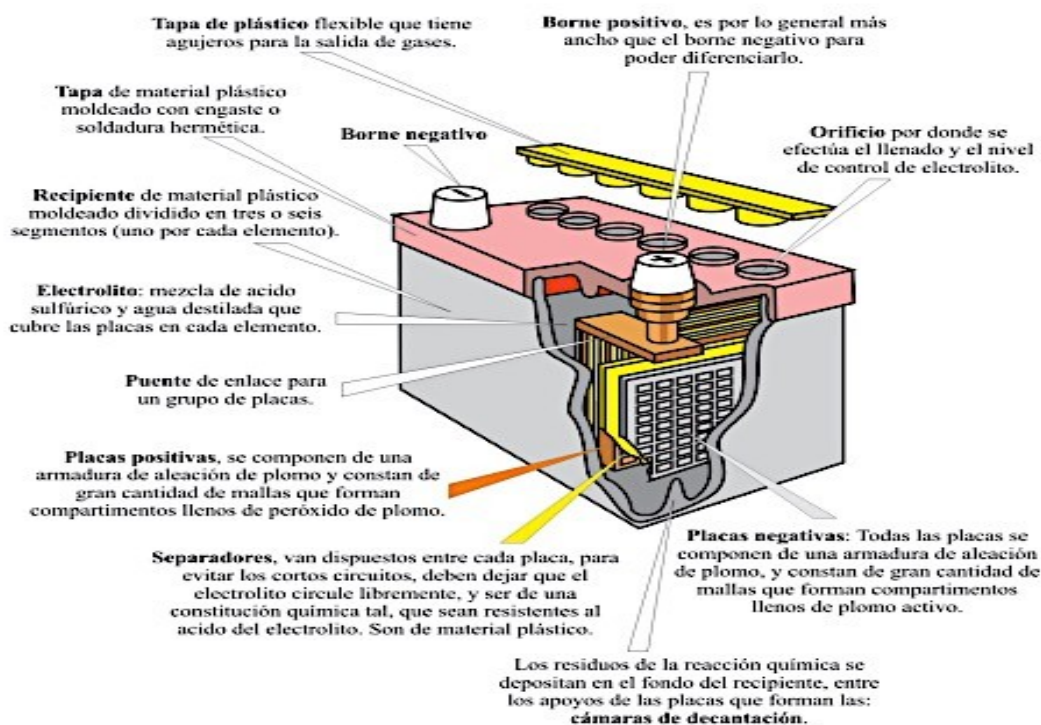
2 CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE RECOLECCIÓN DE BATERÍAS

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), emitió el decreto 4741 de 2005, que reglamenta en forma parcial la prevención y manejo de residuos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. Ésta tiene además como principios básicos la prevención en la generación, la reducción de la cantidad generada

y el aprovechamiento. Dentro del decreto se priorizan algunos residuos peligrosos de generación masiva, hacia lo que las autoridades deben enfocar el trabajo en el apoyo a la construcción de estrategias de encadenamiento productivo que garanticen el manejo adecuado de los residuos. En este contexto, las baterías usadas de plomo-ácido son priorizadas desde el contexto nacional. La secretaría ha avanzado en la promoción de espacios que reúnan a todos los actores de la cadena y generen lineamientos técnicos frente a las actividades que deben realizarse para apoyar esta labor.

Resulta importante identificar los componentes de una batería plomo-ácido convencional, puesto que de estos depende el impacto ambiental que genera la batería y dependerá el aprovechamiento que se pueda obtener. En la figura 2 se presentan los respectivos componentes.

Figura 2. Componentes de la batería de plomo-acido



Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente, 2008

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019) afirma que hace 10 años, los colombianos compraban 100.000 vehículos nuevos y hoy la cifra es cercana a los 300.000. Esto indica que a medida en que la población va creciendo, la clase media se

va desarrollando y el ingreso per cápita mejora. Las ventas de vehículos y el parque automotor van a seguir creciendo en Colombia en el mediano y largo plazo.

Así mismo, según el (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2009) en cada una de las operaciones físicas del manejo de los residuos o desechos peligrosos devueltos, se debe indicar las personas involucradas y el rol que desempeñaran en el desarrollo de las diferentes etapas y tareas en el plan de gestión de devolución de productos posconsumo de baterías usadas plomo ácido; discriminando los recursos técnicos, financieros y logísticos, así como también, la captura y manejo de la información. Aunque se cuenta con esta normatividad se identificaron algunos actores que el adecuado manejo de estos residuos.

Los actores involucrados en la cadena de baterías de plomo ácido pueden ser clasificados como:

a. Actores principales, dentro de los cuales, se consideran los:

Proveedores: Un proveedor es una empresa o persona física que proporciona bienes o servicios a otras personas o empresas. En Colombia se encuentra que los fabricantes de baterías se encargan de la distribución directamente a los minoristas.

Minoristas: es un vendedor de artículos en pequeñas cantidades, circunstancia que implica un comercio hacia un consumidor final. El minorista compra productos en cantidad, ofreciendo un precio menor, y los vende en pequeñas cantidades para lucrar con la diferencia.

Cliente y la(s) empresa(s) responsable de la recuperación del producto o productor son clasificados como:

b. Actores especializados, los cuales ejecutan los procesos específicos de la logística inversa tales como: prestadores de servicio de transporte, almacenamiento, recicladores, operadores de reprocesamiento o eliminación de desechos.

c. Actores relacionados, los cuales son organizaciones gubernamentales, ONG ambientalistas, entre otras, que afectan directa o indirectamente a la logística inversa de la cadena de suministro, etc. (Gómez, 2010).

Como un complemento en el proceso de caracterización, se elaboró el diagrama SIPOC (por sus siglas en inglés: Supplier – Inputs- Process- Outputs – Customers), el cual es la representación gráfica de un proceso de gestión. Esta herramienta permite visualizar el proceso de manera sencilla, partiendo desde el abastecimiento de las partes que conforman una batería e identificando todos los procesos involucrados en el mismo. Se toma como referencia el proceso en general. La información presentada a continuación en la figura 3 tiene varias fuentes de información, primero la investigación preliminar de

la problemática, adicional a esto las entrevistas semiestructuradas realizadas a las personas relacionadas con el proceso de las baterías. En este caso, pertenecientes a la mayor productora de las mismas, cuyo sello es Johnson Controls.

El diagrama incluye los siguientes componentes:

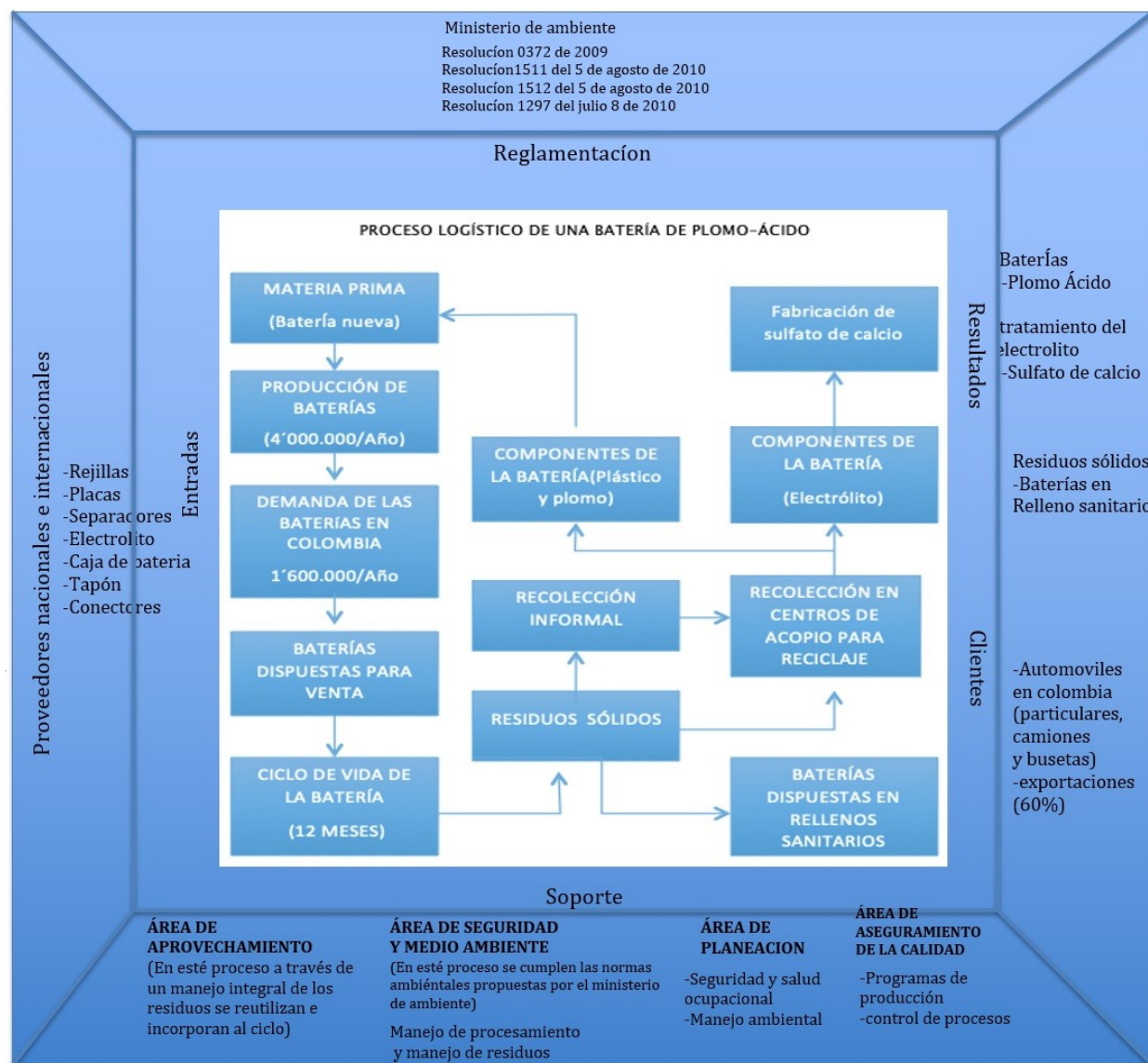
Proveedor (supplier): persona que aporta recursos al proceso

Recursos (inputs): todo lo que se requiere para llevar a cabo el proceso. Se considera recursos a la información, materiales e incluso, personas.

Proceso (process): conjunto de actividades que transforman las entradas en salidas, dándoles un valor añadido.

Cliente (customer): la persona que recibe el resultado del proceso. El objetivo es obtener la satisfacción de este cliente.

Figura 3. SIPOC general del proceso de elaboración de baterías



Fuente: Elaboración propia, 2019

3 IDENTIFICACION DE VARIABLES DE LA LOGÍSTICA INVERSA DE LAS BATERÍAS

La logística inversa es el proceso de planificación, implementación y control del flujo eficiente y rentable de materias primas, inventario en proceso, productos terminados e información relacionada desde el punto de consumo hasta el punto de origen. (Selcuk et al., 2015) (González & Ponce-cueto, 2014). (Shi et al., 2012) (Gómez, 2010) (Monroy & Ahumada, 2006). Además, hace referencia a la recuperación de los productos usados, ya sea en garantía o al final del uso o al final del arrendamiento, para que los productos o sus partes sean desechados, reciclados, reutilizados o remanufacturados adecuadamente (Kannan, Sasikumar, & Devika, 2010).

En otras palabras, cada producto tiene una vida que incluye la extracción de recursos naturales e incluye procesamiento, fabricación, uso, posconsumo y disposición final (Mercedes, Baenas, Castro, Aparecida, & Battistelle, 2011). De esta manera, la logística inversa es definida por Dyckhoff como las actividades que involucran la administración, procesamiento, reducción y disposición de residuos o productos desde producción, residuos de embalaje (cajas, *pallets*, bidones, entre otros) y/o bienes usados por el cliente hasta el punto de origen, reproceso o destrucción.

En este sentido, según (Gómez, 2010) la logística inversa implica el movimiento de productos desde el punto de consumo, pasando por los canales de miembros, hasta el punto de origen, recuperación o reproceso de los productos.

A continuación, se explica la función de cada una de las variables que se muestran en el diagrama de Forrester, en el cual se ve reflejado el proceso logístico de las baterías.

3.1 VARIABLES DE NIVEL DE LA LOGÍSTICA INVERSA

Se presentan las variables de nivel de la logística inversa de las baterías, inicialmente nivel, es decir, aquellas que suponen la acumulación en el tiempo de una cierta magnitud. Son las variables de estado del sistema, en cuanto que los valores que toman determinan la situación en la que se encuentra el mismo. Estas se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Variables de nivel

NOMBRE	ECUACIÓN	UNIDADES	DEFINICIÓN
Inventario de materia prima para proceso de baterías	INTEG (IF THEN ELSE(Inventario materia prima triturada+pedido de materia prima+material desechado como inventario para	Kg/año	La variable indica la cantidad de materia prima requerida para empezar el proceso de fabricación de una batería, dependiendo de la demanda del Mercado actual, de acuerdo al flujo de entrada de materia prima para baterías, además genera como flujo de salida me genera la producción de baterías.

	nuevas baterías *peso batería- producción de baterías ≤ 0 , 0 ,Inventario materia prima triturada+pedido de materia prima +material desechado como inventario para nuevas baterías*peso batería-producción de baterías),		
Inventario de baterías	INTEG (producción de baterías-venta de baterías-material a ser recuperado)	Un/año	Esta variable nos muestra la disposición que se tienen sobre las baterías dependiendo de una producción de baterías y teniendo como resultado una venta de baterías ya sea para el mercado nacional o internacional.
inventario de material desechado durante la producción	INTEG (material a ser recuperado-material desechado como inventario para nuevas baterías)	Kg/año	Variable que indica el desperdicio durante el proceso productivo de la batería
Baterías en el mercado	INTEG (inventario de baterías de segunda para la venta+venta de baterías-baterías que terminan su vida útil)	Un/año	Indica la cantidad de baterías nuevas que se encuentran en el mercado, va a depender del flujo de entrada de venta de baterías y el flujo de salida la utilización que tengan las baterías al ser compradas.
Residuos de baterías	INTEG (baterías que terminan su vida útil-recolección de baterías-residuo baterías para rellenos sanitarios)	Un/año	Indica la cantidad de residuos de baterías que se acumulan, a esta variable ingresan los flujos de las baterías nuevas y reaprovechadas que terminan su ciclo de vida, además indica la cantidad de estas que se recolectan o se envían al relleno sanitario.
Baterías recolectadas	INTEG (recolección de baterías-baterías para aprovechamiento con baja tecnología -baterías para aprovechamiento tecnificado-recolección informal)	Un/año	Esta variable acumula los residuos de baterías que son dispuestos para realizar el proceso de reaprovechamiento. Tiene como flujo de entrada la recolección de baterías tanto informalmente como por grupos especializados y como flujo de salida el transporte a los centros de acopio autorizados.
Baterías dispuestas en rellenos sanitarios	INTEG (baterías informales que terminan en rellenos sanitarios+residuo baterías para rellenos sanitarios)	Un/año	Esta variable acumula las baterías que se disponen en el relleno sanitario con el fin de saber cuánto volumen ocupan en él. Contiene el flujo de entradas proveniente de la disposición a relleno sanitario y las baterías informales que terminan en estos rellenos.
Baterías recolectadas por agentes recolectores	INTEG (recolección informal-baterías informales que terminan en rellenos sanitarios)	Un/año	Esta variable nos muestra la recolección que se presenta por agentes no formales, los cuales pueden ser por personas del común o agentes recicladores

	-baterías que terminan en centros de acopio)		
Baterías en centros de acopio	INTEG (baterías para aprovechamiento tecnificado+baterías que terminan en centros de acopio -baterías a ser reprocesadas)	Un/año	Son aquellas baterías que pasan por un proceso hasta que sean transportadas hasta los lugares de almacenamiento, actualmente en el país se cuenta con 5 lugares especializados en las ciudades de Medellín, Cali, barranquilla, Pereira y Bogotá. Sus flujos de entrada dependen de las baterías recolectadas en centros especializados y las baterías recolectadas informalmente, el flujo de salida nos da unas baterías reprocesadas.
Inventario de baterías en centros de reciclaje	INTEG (baterías a ser reprocesadas-baterías a ser trituradas)	Un/año	Son las baterías dispuestas a pasar por el proceso de reaprovechamiento para volver a ser utilizadas como baterías nuevas en autos.
Baterías recolectadas en talleres clandestinos	INTEG (baterías para aprovechamiento con baja tecnología-baterías a ser tratadas con baja tecnología)	Un/año	Son aquellas baterías recolectadas por agentes informales para ser tratadas sin la tecnología necesaria.
Tratamiento de baterías con baja tecnología	INTEG (baterías a ser tratadas con baja tecnología-inventario de baterías de segunda para la venta)	Un/año	Son aquellas baterías fabricadas en lugares clandestinos que no poseen la tecnología ni las herramientas necesarias para su fabricación.
Trituración de baterías	INTEG (baterías a ser trituradas-Baterías trituradas)	Un/año	Es el proceso por el cual se comprimen los componentes de la batería para ser separados dependiendo de sus componentes
Tratamiento del electrolito	INTEG (Electrolito a ser tratado-sulfato de calcio a ser extraído)	Kg/año	Componente de la batería que no es reutilizado pero pasa por un proceso de separación de partículas para brindarnos el sulfato de calcio
Sulfato de calcio	INTEG (IF THEN ELSE(sulfato de calcio a ser extraído-material para disposición en otros mercados <=0 , 0 , sulfato de calcio a ser extraído-material para disposición en otros mercados)	Kg/año	Material extraído del proceso de separación de partículas del electrolito.

Fuente: Elaboración propia, 2019

3.2 VARIABLES DE FLUJO DE LA LOGÍSTICA INVERSA

De la misma manera. Se presentan las variables de flujo, estas determinan las variaciones en los niveles del sistema. Las variables de flujo caracterizan las acciones que se toman en el sistema, las cuales quedan acumuladas en los correspondientes niveles. Las variables de flujo determinan cómo se convierte la información disponible en una acción o actuación.

Tabla 4. Variables de flujo

NOMBRE	ECUACIÓN	UNIDADES	DEFINICION
Pedido de materia prima	IF THEN ELSE(inventario de materia prima para proceso de baterías>demand de nuevas baterías *peso batería*(1+tasa de desperdicio para producción de baterías), 0 ,demand de nuevas baterías *peso batería*(1+tasa de desperdicio para producción de baterías)- inventario de materia prima para proceso de baterías)	Kg/año	demand de materiales requeridos para la producción de baterías (plástico, plomo, electrolito)
Producción baterías	IF THEN ELSE((inventario de materia prima para proceso de baterías/peso batería) > demand de nuevas baterías, demand de nuevas baterías, inventario de materia prima para proceso de baterías /peso batería)	Un/año	indica la cantidad de baterías que serán producidas cada año teniendo en cuenta la demand para ser almacenadas en el inventario de baterías para la venta
Material a ser recuperado	producción de baterías*perdida de materia prima en el proceso	Kg/año	Esta variable de flujo hace referencia a la cantidad de material desperdiciado que se obtiene durante la producción de nuevas baterías, siendo la entrada del inventario de material desechado durante la producción.
Venta de baterías	IF THEN ELSE(demand de nuevas baterías>inventario de baterías, inventario de baterías ,demand de nuevas baterías)	Un/año	Muestra cuántas baterías de las que se producen se van a consumir, esto de acuerdo la demand

material desechado como inventario para nuevas baterías	inventario de material desechado durante la producción	Kg/año	Es el material o desperdicio generado en el proceso de fabricación de la batería.
Baterías que terminan su vida útil	DELAY FIXED (venta de baterías, tasa de cambio de batería , 0)	Un/año	Las baterías que están en el mercado se van a convertir en residuo, por lo tanto, esta variable indica que cantidad de baterías terminan su vida útil, para posteriormente convertirse en residuo.
Residuos baterías para rellenos sanitarios	IF THEN ELSE(residuo de batería>0, residuo de batería*tasa de disposición en rellenos , 0)	Un/año	El flujo va a indicar los residuos de baterías que se disponen al relleno sanitario.
Baterías informales que van a rellenos sanitarios	baterías recolectadas por agentes recolectores*tasa de baterías informales para rellenos	Un/año	Indica la cantidad de baterías que después de ser recolectadas informalmente terminan en rellenos sanitarios
Recolección de baterías	IF THEN ELSE(residuo de batería>0, residuo de batería*tasa de recolección , 0)	Un/año	Esta variable de flujo tiene como objetivo identificar la cantidad de residuos de baterías que se recolectan según una tasa establecida.
Recolección informal	recolección de baterías*tasa de recolección informal	Un/año	esta variable hace referencia a la cantidad de baterías que son recolectadas informalmente, tal recolección es ejecutada por (recicladores, chatarrerías, personas del común
Baterías que terminan en centros de acopio	baterías recolectadas por agentes recolectores*tasa de baterías a centros de acopio	Un/año	Este flujo es la cantidad de baterías que son dispuestas en los sitios autorizados
Baterías para aprovechamiento o tecnificado	recolección de baterías*tasa de aprovechamiento	Un/año	Baterías dispuestas para ser reprocesadas con los equipos y las herramientas necesarias.
Baterías para aprovechamiento o con baja tecnología	recolección de baterías*tasa de recolección baja tecnología	Un/año	Baterías que son recolectadas por talleres clandestinos para ser tratadas por ellos sin la tecnología necesaria.
Baterías a ser reprocesadas	baterías en centros de acopio	Un/año	dada la tasa de recolección de baterías este flujo va a indicar cuantas baterías se van a disponer al proceso de trituración
Baterías a ser tratadas con baja tecnología	baterías recolectadas en talleres clandestinos	Un/año	Baterías recolectadas por talleres clandestino sin la tecnología ni las herramientas adecuadas.
Baterías a ser trituradas	inventario de baterías en centros de reciclaje	Un/año	baterías que llega al centro de reciclaje para pasar por el proceso de reaprovechamiento.

Inventario de materia prima triturada	Baterías trituradas*porcentaje plástico y plomo	Un/año	Es el inventario resultante de la trituración de baterías.
inventario de baterías de segunda para la venta	tratamiento de baterías con baja tecnología	Un/año	Variable que mide la cantidad de baterías que son prefabricadas en lugares que no cumplen con la tecnología ni las herramientas adecuadas.
Electrólito a ser tratado	baterías a ser trituradas*peso batería*porcentaje de electrolito	Kg/año	Esta variable hace referencia a la cantidad de electrolito que queda después de que la batería es triturada.
Sulfato de calcio a ser extraído	tratamiento del electrolito*porcentaje de sulfato de calcio	Kg/año	Luego de tratar el electrolito el resultante es sulfato de calcio, el cual se dispone para usar en otros mercados.
Material para disposición en otros mercados	sulfato de calcio	Kg/año	En este caso sería el sulfato de Calcio que saldría para un mercado alternativo al de la fabricación de las baterías.

Fuente: Elaboración propia, 2019

3.3 VARIABLES AUXILIARES DE LA LOGÍSTICA INVERSA

Finalmente, se presentan las variables auxiliares que representan pasos o etapas en que se descompone el cálculo de una variable de flujo a partir de los valores tomados por los niveles. Las variables auxiliares unen los canales de información entre variables de nivel y de flujo; en realidad son parte de las variables de flujo. Sin embargo, se distinguen de ellas en la medida en que tengan un significado real por sí mismas, o sencillamente, porque hacen más fácil la comprensión de las ecuaciones de flujo.

Tabla 5. Variables auxiliares y medioambientales

VARIABLES AUXILIARES DEL DIAGRAMA				
NOMBRE	ECUACIÓN	UNIDADES	DEFINICION	ORIGEN
Demanda de nuevas baterías	RANDOM NORMAL(1.6e+06 , 1.95039e+06 , 1.77e+06 , 116201, 1)	Kg/año	Indica la cantidad de baterías que serán producidas cada mes para cubrir la demanda propuesta. Este dato se obtiene de la demanda anual de baterías (proporcionado por Johnson Controls) y el crecimiento de la población (Dane) así por medio de regresión lineal	JOHNSON CONTROLS- DANE

			estimamos la demanda de los próximos años	
Peso batería	18	Kg	variable que indica el peso de una batería de plomo-ácido	JOHNSON CONTROLS
Tasa de desperdicio para producción de baterías	0.1	dmnl	Porcentaje de material que se pide de mas en la producción de una batería	JOHNSON CONTROLS
Pérdida de materia prima en el proceso	0.04	dmnl	Porcentaje de material que se pierde en la producción de una batería en el momento de ser reaprovechada.	JOHNSON CONTROLS
Tasa de cambio de batería	1	Año	tiempo estimado por el fabricante para cambiar la batería.	JOHNSON CONTROLS
Volumen ocupado en rellenos sanitarios	baterías dispuestas en rellenos sanitarios	Un/año	cantidad de baterías que se encuentran en los rellenos sanitarios.	
Tasa de disposición en rellenos	0.09	dmnl	Cantidad de baterías que se encuentran en los rellenos sanitarios Dato tomado del estudio realizado por la universidad nacional donde relacionan la el porcentaje de baterías que va con los demás residuos a los rellenos	Universidad Nacional de Colombia, 2019
Afectación al medio ambiente-suelo	baterías dispuestas en rellenos sanitarios*"tasa de afectación al medio-suelos"	dmnl	Mide el impacto negativo al medio ambiente por las baterías dispuestas en los rellenos.	(Guzmán & Avenda, 2012)
Tasa de afectación al medio-suelo	0.27	dmnl	variable que muestra la cantidad porcentual de problemas en el medio ambiente. Dato tomado del estudio de suelos realizado en Bogotá 2012	(Guzmán & Avenda, 2012)
Tasa de recolección	0.91	dmnl	Porcentaje de recolección de todos los tipos efectuados, dato que sale de analizar la cantidad de baterías que se disponen en los rellenos	JOHNSON CONTROLS
Tasa de baterías a centros de acopio	0.4	dmnl	cantidad de baterías que son recolectadas por agentes recolectores y terminan en centros de acopio	JOHNSON CONTROLS
Tasa de recolección informal	0.25	dmnl	cantidad de baterías que son recolectadas por agentes	JOHNSON CONTROLS

			recolectores(recicladores, personas del común)	
Tasa de baterías informales para rellenos	0.6	dmnl	cantidad de baterías que son recolectadas por agentes recolectores y terminan en rellenos sanitarios	Universidad Nacional de Colombia, 2019
Tasa de aprovechamiento	0.6	dmnl	porcentaje de baterías que llegan al centro de reciclaje, dato proporcionado por Johnson Controls	JOHNSON CONTROLS
Tasa de recolección con baja tecnología	0.15	dmnl	Porcentaje de baterías recolectadas por talleres clandestinos para ser tratadas con tecnología insuficiente	
Tasa de afectación a personas por plomo	0.6	dmnl	Porcentaje de plomo en el aire, dato sacado del estudio de plomo en el aire de las principales ciudades del país	(Manuel & Calderón, 2012)
afectación a personas por plomo	tratamiento de baterías con baja tecnología*tasa de afectación a personas por plomo	dmnl	variable que mide los daños generados en las personas.	JOHNSON CONTROLS
Porcentaje de electrolito	0.21	dmnl	Porcentaje de electrolito en las baterías de plomo ácido, dato tomado de la composición de batería(tabla 2)	JOHNSON CONTROLS
Porcentaje de sulfato de calcio	0.15	dmnl	Porcentaje de sulfato de calcio en las baterías de plomo ácido, dato tomado de la composición de batería(tabla 2)	JOHNSON CONTROLS
Porcentaje de plástico y plomo	0.57	dmnl	Porcentaje de plástico y plomo en las baterías de plomo ácido, dato tomado de la composición de batería(tabla 2)	JOHNSON CONTROLS

Fuente: Elaboración propia, 2019

Para la propuesta se utilizará la dinámica de sistemas, ya que representa una herramienta adecuada para visualizar el sistema, la relación que existe entre los elementos que lo componen y permite simular mediante el diagrama Forrester para identificar el comportamiento de las principales variables con el paso del tiempo (Donado Campos, Dormido Canto, & Morilla García, 2005). Además, no se encontró en la literatura problemas de logística inversa de baterías abordados con dinámica de sistemas. Se utilizará el software Vensim porque permite crear con facilidad los modelos

de simulación, partiendo de un diagrama causal que se traduce en diagrama de flujos, que permite comprender en todo momento lo que sucede en el modelo, como reflejo de lo que sucede en la realidad, a través de la observación de la evolución gráfica de las variables del sistema.

4 PLANTEAMIENTO Y SIMULACION DEL MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS

La dinámica de sistemas estudia las cosas y su cambio en el tiempo, cosas que incluyen, lo que la mayoría de personas encuentra importante, permitiendo tener una percepción sistémica del mundo real y visualizar su dinámica (Ibarra Vega & Manuel Redondo, 2015). Se utiliza simulación, tomando los conocimientos que ya se tienen cerca de los detalles que hay en el mundo que nos rodea y muestra porque los sistemas sociales y físicos se comportan de la manera que lo hacen, muestra como la mayoría de las decisiones son la causa de los problemas que se suelen culpar a los demás y cómo identificar las políticas a seguir para mejorar nuestra situación (Ravi, Shankar, & Tripathi, 2011).

Se cree como la coordinación y colaboración de procesos y actividades a través de una red de organizaciones.(Subulan, Tas, & Baykaso, 2015). El modelo realizado evalúa los principales impactos ambientales generados por tres procesos que se pueden llevar a cabo con las baterías una vez estas se conviertan en desecho, para describir el modelo de logística inversa de las baterías, primero se presenta la explicación del diagrama causal, seguido por el diagrama Forrester.

4.1 DIAGRAMA CAUSAL DEL PROCESO DE LAS BATERÍAS DE PLOMO-ÁCIDO

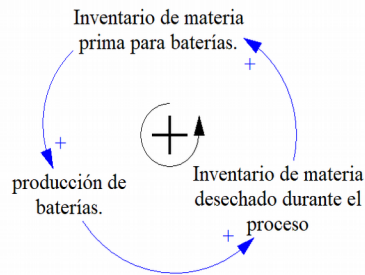
A continuación, se describe el diagrama causal que explica el comportamiento de las diferentes variables que se encuentran afectadas dentro de la logística inversa de las baterías, el cual puede apreciarse en la figura 4. El proceso logístico comienza con la demanda de baterías nuevas que activa la producción de baterías y con ello a la venta de estas, las cuales son desechadas cuando culmina su ciclo de vida. A partir de ahí comienza el análisis de las diferentes disposiciones finales o uso en otros mercados en donde se busca generar el menor impacto ambiental. Dentro de las disposiciones finales que se analizan en este trabajo se encuentran el coprocesamiento, el reaprovechamiento. En cada una de estas actividades se ve involucrada la transformación de materias primas o de baterías, por la tanto se encuentran diferentes impactos ambientales, estos impactos están siendo controlados mediante políticas ambientales que regulan las cantidades permisibles de emisiones al ambiente.

Detalle del diagrama causal

El proceso inicia con la demanda de baterías, a mayor demanda mayor es el pedido de materia prima, y por ende mayor es la compra de materia prima comprada, si la materia

prima comprada crece, el primer bucle identificado es el Bucle 1, donde se relaciona que si aumenta el inventario de materia prima para baterías, esto genera producción de baterías que a su vez produce un mayor desperdicio de material desechado durante el proceso. Después, el inventario de materia prima para baterías pasa a producción, la cual afecta positivamente el inventario de baterías, esto produce una mayor venta y una mayor cantidad de baterías en el mercado, las cuales después de un tiempo se convierten en residuos sólidos.

Bucle 1. Bucle de realimentación positivo del inventario



Posteriormente, los residuos de baterías pueden seguir dos caminos:

Camino 1: el residuo se va a los rellenos sanitarios, que a su vez impactan a las personas y al medio ambiente

Camino 2: el residuo generado es recolectado en 3 formas:

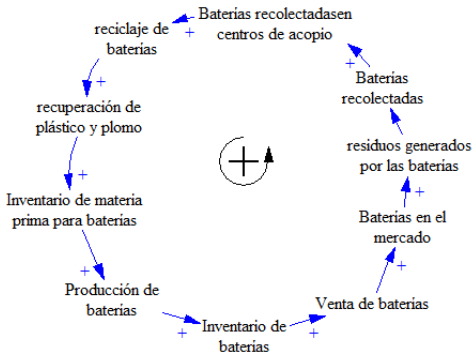
- Forma 1: recolección realizada por agentes recolectores, los cuales después de un tiempo desechan la batería a los rellenos sanitarios o la disponen en centros de acopio certificados

- Forma 2: recolección realizada por talleres clandestinos, los cuales tratan la batería sin ningún tipo de protección ni precaución, generando daños a las personas, luego estas baterías son vendidas a un menor precio (baterías de segunda)

- Forma 3: recolección realizada en centros de acopio, esta recolección permite un mayor reciclaje de baterías, las cuales pasan por un proceso de trituración y separación de sus componentes, así el electrólito es tratado y se convierte en sulfato de calcio para disponerse en otros mercados, el resto de sus componentes (plomo y plástico) son recuperados para convertirse en materia prima base fundamental para nuevas baterías.

El segundo bucle identificado es el bucle que relaciona residuos con producción, en la medida en que más baterías se produzcan, se tendrá mayor inventario de baterías lo cual podría generar una mayor venta de estas y ocasionaría que existan más baterías en el mercado, pasado un tiempo (1 año), estas cumplirán su ciclo de vida y se convertirán en residuos, después serán recolectadas, llevadas a centros de acopio y recicladas, donde se recuperará el plástico y el plomo, los cuales ingresarán al inventario de materia prima de baterías.

Bucle 2. Bucle de realimentación positivo de residuos y producción



4.2 DIAGRAMA FORRESTER DE LA LOGISTICA INVERSA

Consecutivamente, se presenta la figura 5 que muestra el diagrama de Forrester de la logística inversa de las baterías. Para una mejor visualización, hace referencia a la producción de baterías nuevas, la cual empieza con el consumo de materia prima de las baterías, esta materia prima se almacena en un inventario, se forma el inventario de materia prima para baterías nuevas, en este inventario se acumula la materia prima de baterías nuevas necesaria para la producción requerida. Después de realizar la producción planeada. El inventario de baterías nuevas producidas va disminuyendo según el consumo de baterías, así estas baterías se encontrarán en el mercado para después terminar su ciclo de vida y volverse un residuo.

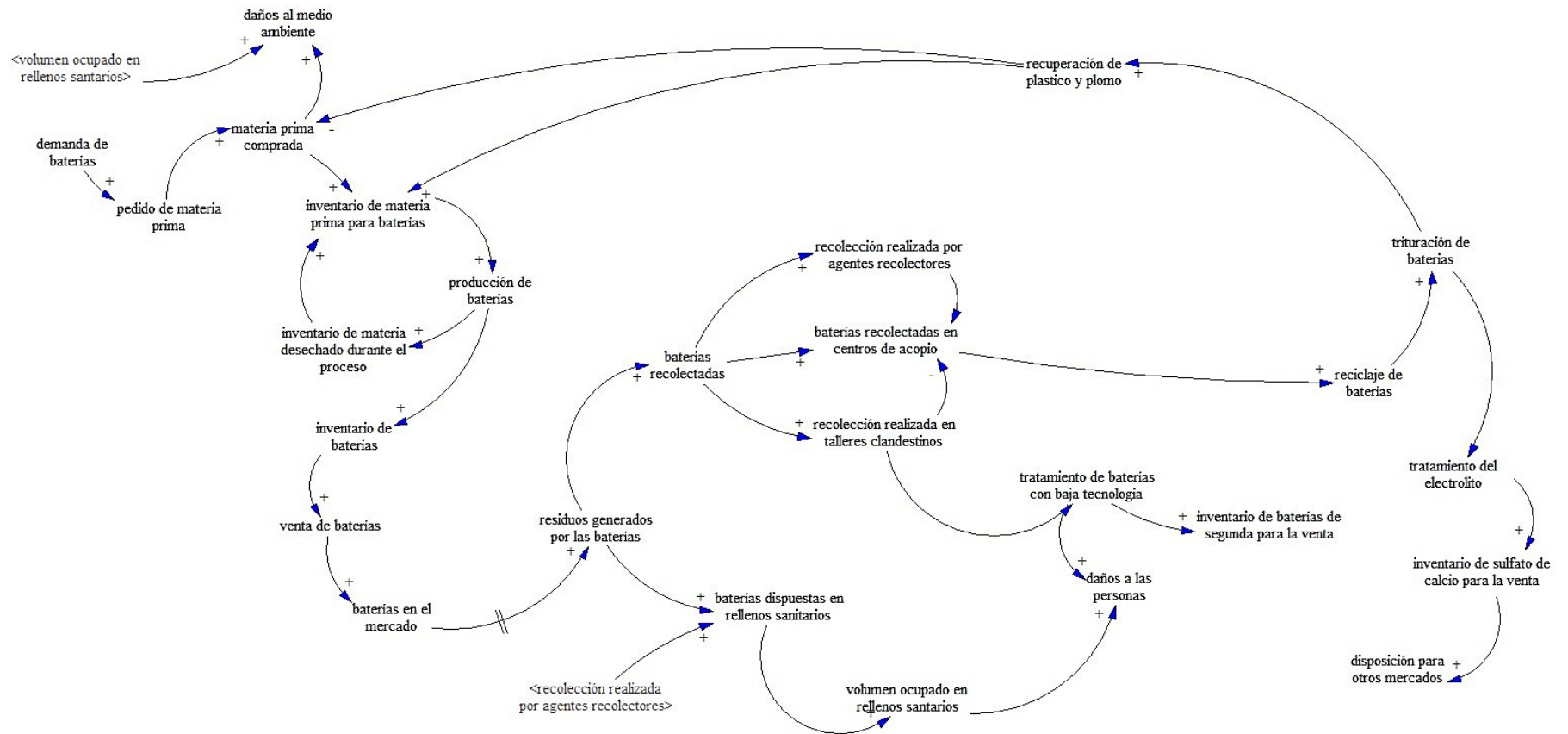
Diagrama forrester del proceso de baterías

El proceso de fabricación de una batería comienza con una demanda del mercado nacional para que con esa variable se realice un pedido de materia prima para fabricar baterías, este pedido de materia prima depende de un peso el cual es de 16kg que nos diga cuanta es la cantidad necesaria de materia prima para suplir la demanda del mercado, de allí tendremos una producción de baterías, la cual se convertirá en baterías en el mercado, al culminar el tiempo de vida de una batería que es de 12 meses pasará a ser residuo sólido y desde allí parten los diferentes lugares a los cuáles se disponen estos residuos.

El 91% de estos residuos continúa como proceso de recolección y el 9% se dirige directamente hacia los rellenos sanitarios, las baterías que son recolectadas tienen diferentes manera o se disponen en diferentes lugares de almacenamiento, el primero

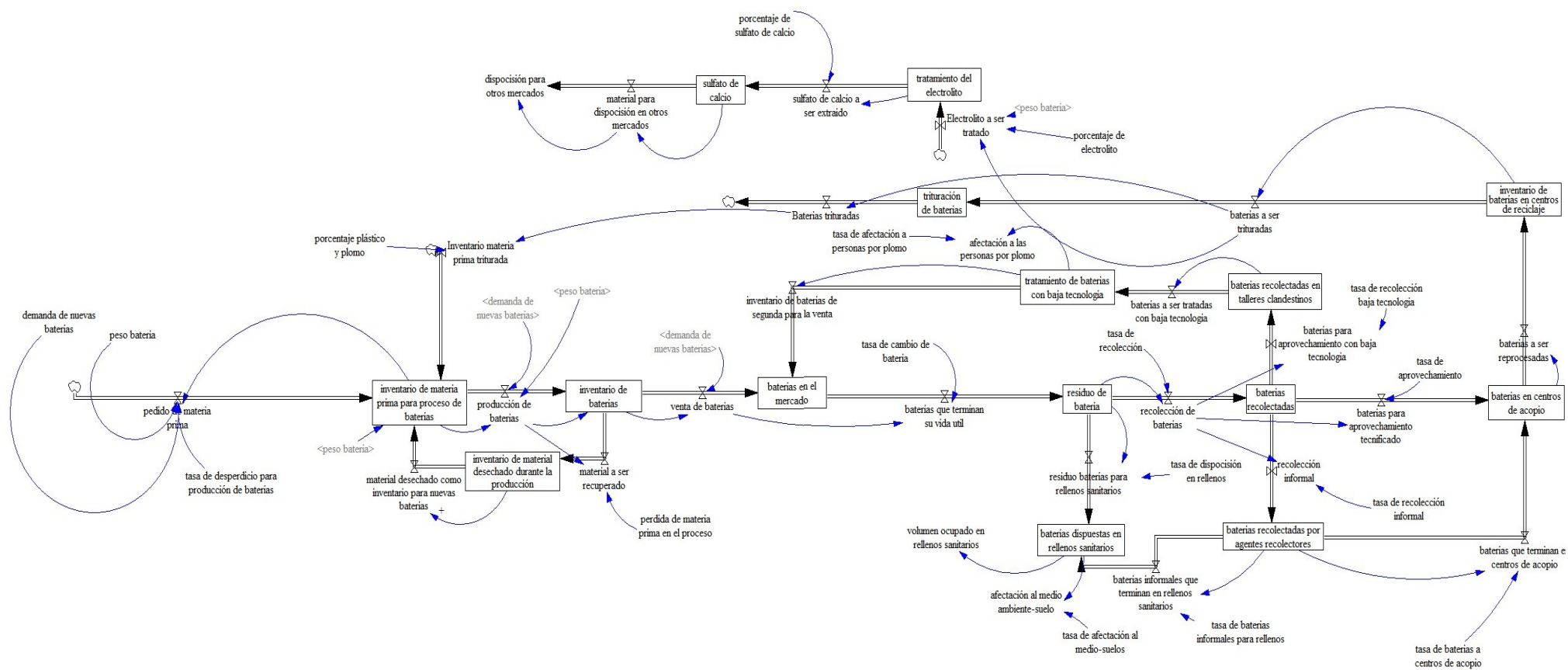
es una cantidad que se recolecta de manera informal, otra cantidad que es recolectada por talleres clandestinos, los cuales las reutilizan con baja tecnología y sin los elementos necesarios, de allí parte la principal afectación a las personas involucradas. Por ultimo tenemos la recolección por centros de acopio los cuales son los encargados del transporte de ellas hasta la fábrica de reciclaje, en la fábrica pasan por un proceso de trituración y separación de componentes y luego se extrae el plomo y el plástico, el cual es el material utilizado para la fabricación de una batería nueva, por otro lado se extrae el electrolito, el cual permite fabricar el sulfato de calcio que es llevado hacia otros mercados.

Figura 4. Diagrama Causal



Fuente: Elaboración propia, 2019

Figura 5. Diagrama de Forrester



Fuente: Elaboración propia, 2019

Como base inicial, se tuvieron en cuenta dos datos. Uno entregado por Johnson Controls (demanda anual de 2019) y el otro obtenido de información del Banco Mundial. Permitiendo realizar la proyección tanto de la demanda de baterías de plomo-ácido en Colombia como su crecimiento demográfico. Los demás datos requeridos se tuvieron presentes en el inciso anterior en las tablas 4, 5 y 6 del documento, abarcando todas las variables e información necesarias para el modelo.

Tabla 6. Datos Iniciales

	Año	Demanda	Proyección población
1	2019	1.600.000,00	49.921.868,00
2	2020	1.632.000,00	50.920.305,36
3	2021	1.664.640,00	51.938.711,47
4	2022	1.697.932,80	52.977.485,70
5	2023	1.731.891,46	54.037.035,41
6	2024	1.766.529,29	55.117.776,12
7	2025	1.801.859,87	56.220.131,64
8	2026	1.837.897,07	57.344.534,27
9	2027	1.874.655,01	58.491.424,96
10	2028	1.912.148,11	59.661.253,46
11	2029	1.950.391,07	60.854.478,53

Fuente: Banco Mundial (2019)

Para realizar la simulación del modelo es necesario tener en cuenta la

disposición final de las baterías, ya que el modelo propuesto exige una distinción de estas. Primero se realizó el pronóstico de la demanda de baterías, el cual fue realizado con los datos previamente mencionados y se realizó para el cálculo de este, posteriormente se analizó la media y la desviación de estos datos para incluirlo en el modelo. Luego se presenta el comportamiento de disposición final de las mismas para así definir un horizonte de tiempo donde se tenga en cuenta la evolución porcentual tanto positiva como negativa de los datos. A continuación, se presentan las tasas relacionadas con la problemática:

Tasa de recolección de baterías	91%
Tasa de disposición en rellenos sanitarios	9%
Tasa de recolección informal	25%
Tasa de recolección en talleres clandestinos	15%
Tasa de aprovechamiento	60%
Tasa de afectación a personas por plomo	60%
Tasa de afectación al medio suelo	27%

4.3 SIMULACIÓN DEL MODELO

La simulación en el estudio abarca desde el año 2019 al 2029 y se tiene en cuenta que la tasa de recolección para el año 2019 es del 60% y que según el aumento anual del 5% de la tasa. La condición actual del sistema (Escenario 1) desea mostrar los resultados de los impactos ambientales de los residuos de baterías recolectadas tanto de manera formal como informal frente a las disposiciones finales que se les da a estos, en este estudio se analizó su disposición final, recolectadas o dispuestas en rellenos sanitarios. Los datos utilizados de las tasas para las diferentes disposiciones finales fueron obtenidos de fuentes como JOHNSON CONTROLS, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (2019), (GUZMÁN & AVENDA, 2012).

Inicialmente se analizará el comportamiento de la variable cantidad de baterías recolectadas (figura 6), donde se puede observar que la cantidad de baterías disminuirá durante los diez años de análisis en un 35%, esto asociado posiblemente a la demanda y a la duración que tienen las baterías en el mercado. Por su parte, la cantidad de baterías a ser reprocesadas decrece en el año 2021, pero se estabiliza desde el 2025, con una disminución del 47% en el último año con relación al inicio de la simulación.

Figura 6. La cantidad de baterías recolectadas

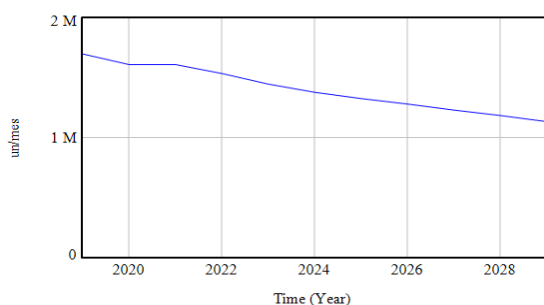
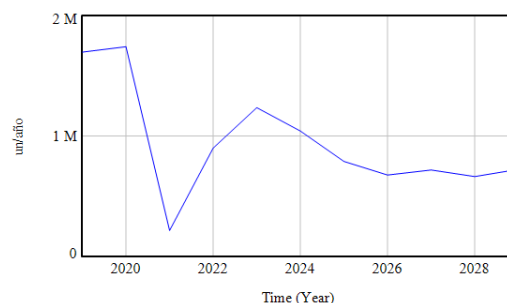


Figura 7. La cantidad de baterías a ser reprocesadas



Fuente: Elaboración propia, 2019

Por otro lado, en la figura 8 se puede observar el comportamiento de la afectación al medio ambiente- suelo y la afectación a las personas por el plomo, dadas las condiciones actuales de baterías que se encuentran en el sistema de logística inversa, indica que el nivel de afectación al medio ambiente – suelo tiene un comportamiento creciente, llegando en el 2029 a incrementar en más de un 100%, mientras que la afectación generada al medioambiente con las condiciones actuales se incrementaría en un 10% pasado el horizonte de análisis, esto debido a la cantidad de demanda de baterías aumentando notablemente la problemática y los inconvenientes que se generan en el subproceso de recuperación de las baterías cuando cumplen su vida útil.

En cuanto al comportamiento del pedido de materia prima y el inventario de materia prima para proceso, de acuerdo a la figura 9 se puede identificar que a partir del año 2021 habrá el suficiente inventario de materia prima para procesar las baterías, con lo cual no se requerirá realizar pedidos de materia prima.

Figura 8. Afectación generada al medioambiente y a las personas por plomo

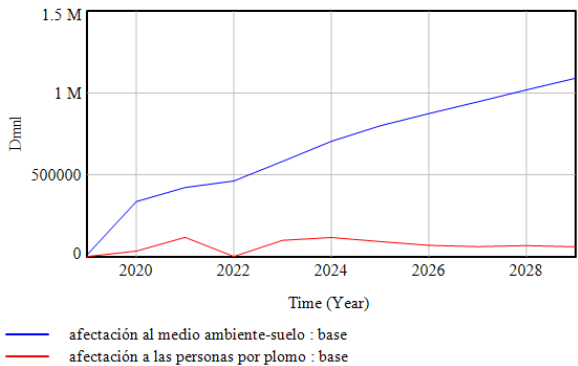
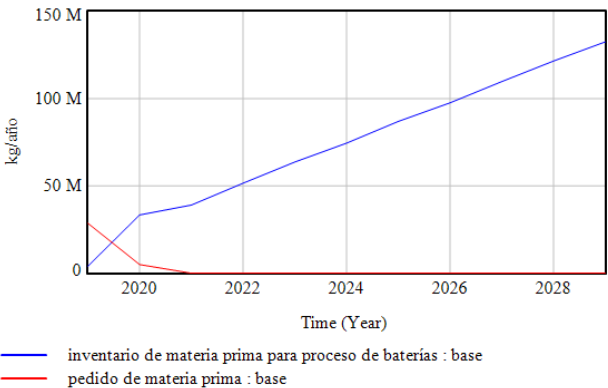


Figura 9. Comportamiento materia prima



Fuente: Elaboración propia, 2019

También en la figura 10 se puede observar que la producción de sulfato de calcio mantiene un incremento hasta el 2023 donde logra sostenerlo y en el año 2027 se vuelve a estabilizar, por otra parte en la figura 11 podemos añadir que el volumen ocupado en rellenos sanitarios va en continuo aumento.

Figura 10 sulfato de calcio

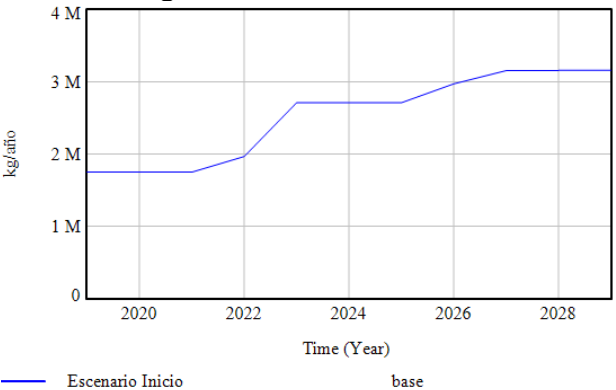
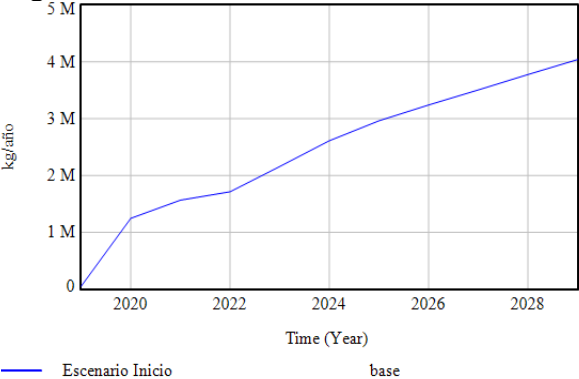


Figura 11 volumen en rellenos sanitarios



5 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO

Para determinar la estabilidad y la validación de la solución, se realizó un análisis de sensibilidad de la metodología, generando variaciones en las condiciones de partida, para esto se proponen cuatro (4) escenarios, incluyendo el estado inicial. Con esto se analizan los posibles cambios en las variables principales de interés:

Estado inicial (Escenario 1): Este escenario representa el estado actual de los datos, el cual se presentó anteriormente.

Escenario 2: En este escenario se plantea un aumento en la tasa de aprovechamiento, definiéndola en un 80% y la disminución de la tasa de recolección informal establecida en 10%, igual que la tasa de recolección con baja tecnología.

Escenario 3: Se plantea como un escenario optimista, donde se tiene una tasa de recolección del 100%, es decir que la tasa de disposición en rellenos y es igual al 0%

Escenario 4: Para este escenario se considera que la tasa de aprovechamiento será en 100%, dejando las tasas de recolección informal y recolección baja tecnología igual a 0%.

Los resultados de todos los escenarios se presentan de manera consolidada en las diferentes figuras.

Inicialmente en la figura 10 se puede observar que las baterías en los centros de acopio para todos los escenarios presenta un pico de disminución considerable en el año 2020, esto puede deberse a que se tenía un valor inicial de residuo de batería, el cual disminuyó por la tasa de recolección y para que se generaran baterías se tenía un retraso, es decir, las baterías vendidas no se convierten inmediatamente en residuos de batería, sin embargo, con el paso del tiempo los residuos se incrementan y luego se estabilizan desde el 2024 hasta 2029 sin llegar al nivel inicial. El comportamiento de la variable se mantiene a pesar de los cambios de los parámetros en los escenarios.

Teniendo como referencia la figura 11 se puede concluir que todos los escenarios muestran un cambio significativo de afectación al medio ambiente suelo teniendo como escenario de más aumento de afectación el escenario actual el cual refleja una tasa de problemas al medio ambiente mucho mayor, por consiguiente tenemos que en la figura 12 se puede apreciar como estos escenarios afectan a las personas, arrojando como resultado que en el escenario en el cual se aprovechan todos estos residuos no habrán daños hacia las personas, mientras en los demás escenarios para el año 2022 habrá un aumento significativo en la afectación a la salud de las personas por plomo.

En la figura 13 podemos identificar que ocurre lo mismo que en la figura 10 ya que se tenía un valor inicial de residuo de batería, el cual disminuyó por la tasa de recolección

y para que se generaran baterías se tenía un retraso, es decir, las baterías vendidas no se convierten inmediatamente en residuos de batería, sin embargo, con el paso del tiempo los residuos se incrementan y luego se estabilizan, luego podremos identificar en la figura 14 que sucede con las baterías recolectadas por talleres clandestinos, y de esta manera podemos identificar que en los escenarios 3 y 2 se ve una gran disposición de baterías en el mercado de las baterías recolectadas por talleres clandestinos, exceptuando el año 2012 el cual es cuando las baterías vendidas apenas iniciaran un proceso logístico para convertirse en residuos en un tiempo trascurrido, por último para nuestra figura 15 podemos apreciar que la producción de sulfato de calcio sin importar los distintos escenarios evaluados se puede apreciar que se logra mantener en constante aumento.

Figura 10. Baterías en centros de acopio

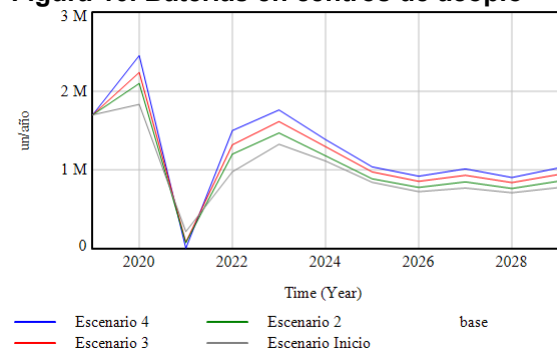


Figura 11. Afectación al medio ambiente-suelo

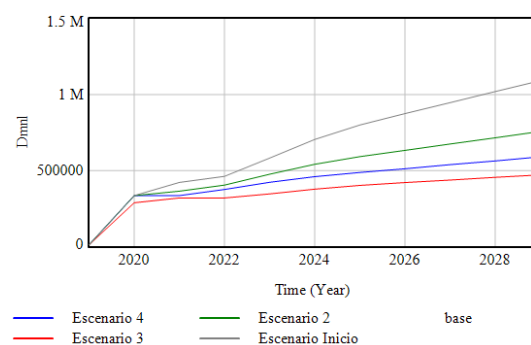


Figura 12. Afectación a las personas por plomo

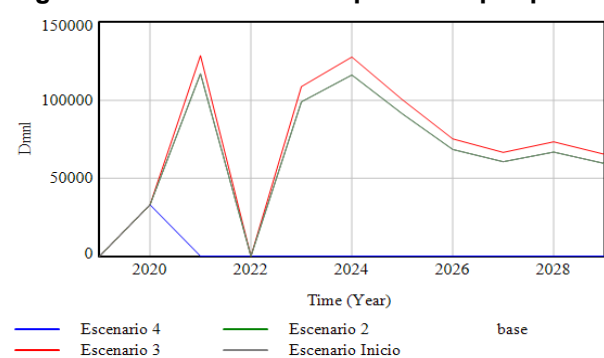


Figura 13. Baterías a ser reprocesadas

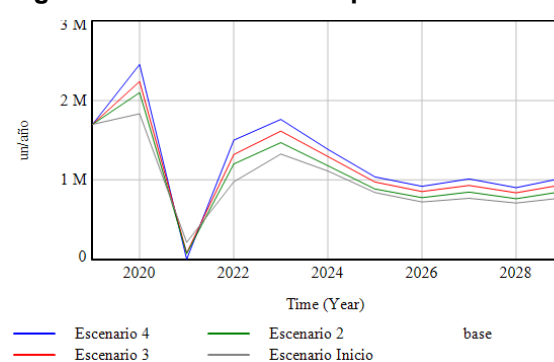


Figura 14. Baterías recolectadas por talleres clandestinos

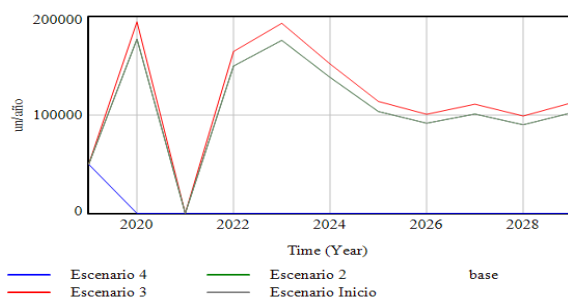
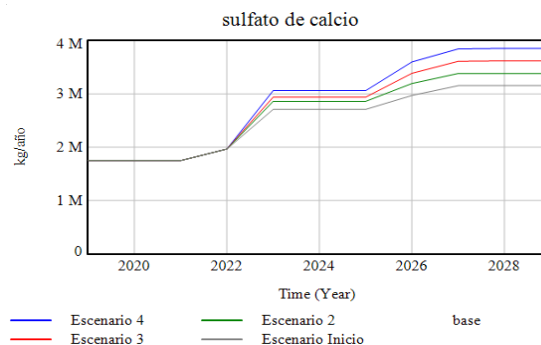


Figura 15. Sulfato de calcio



Fuente: Elaboración propia, 2019

En los resultados de las figuras que comparan la progresión de las variables afectadas en el proceso de baterías al transcurrir 10 años podemos concluir que en cada uno de los escenarios se ven cambios a futuro al cambiar sus valores iniciales y de esta manera podemos decir que el escenario 4 el cual nos indica que el 100% de las baterías son aprovechadas nos brindaría excelentes resultados reflejados en cada una de las figuras, ya que aumentaría las baterías reprocesadas y la cantidad de sulfato de calcio para otros mercados, y por otra parte reduciría el impacto generado por estos residuos tanto a las personas como al medio ambiente.

CONCLUSIONES

La caracterización del proceso de logística inversa de las baterías permitió conocer el entorno en que se rodea la disposición final de este tipo de elementos que se denominan desechos peligrosos cuando se les realiza un inadecuado manejo y/o disposición tanto para las personas como para el medio ambiente. Además, permitió identificarse cuales son los actores involucrados y el rol que desempeñan en el plan de gestión de devolución posconsumo para así definir el diagrama causal que explica el comportamiento de las diferentes variables que se encuentran afectadas dentro de la logística inversa.

La identificación de las variables permitió conocer la interrelación y proporcionalidad que tienen entre sí. Así definiendo los factores críticos del proceso logístico y poder abarcar todos y cada uno de los subprocesos o situaciones que afectan la gestión de devolución de las baterías hasta su disposición final. Siendo esto el conjunto de procesos encargados de recibir, evaluar, registrar y transformar o tratar los productos retornados, en este caso las baterías usadas, con el fin de convertirlos en amigables con el medioambiente o reutilizables por el medio industrial.

El planteamiento del modelo utilizando un Software Vensim siendo esta una herramienta visual de modelización que permite conceptualizar, documentar, simular, analizar y optimizar modelos de dinámica de sistemas. Permitted una forma simple y flexible de la construcción del modelo de simulación de la logística inversa de la batería mediante el diagrama de influencias y el diagrama de Forrester. Permitted plasmar la realidad de retorno de las baterías teniendo en cuenta todas las implicaciones que tiene dando la facilidad de conocer la realidad y la forma en que cada una de estas la afecta.

La realización del análisis de sensibilidad permitió validar la estabilidad de la simulación, además que permitió conocer a futuro las implicaciones que se generarían si en los escenarios propuestos integrando los factores críticos de riesgo y ambientales donde se cambiara los parámetros de interés, en este caso la disposición final de las baterías. Tanto en la parte informal como en la disposición en centros de acopio donde las baterías no tienen un fin adecuado teniendo en cuenta sus componentes, reconociendo así el impacto negativo que se generaría a 10 años en cada uno de los escenarios, además, podemos afirmar que de los escenarios evaluados. El escenario 4 nos brindaría excelentes resultados reflejados en cada una de las figuras, ya que aumentaría las baterías reprocesadas y la cantidad de sulfato de calcio para otros mercados, y por otra parte reduciría el impacto generado por estos residuos tanto a las personas como al medio ambiente.

FUTURAS INVESTIGACIONES

Para futuras investigaciones se recomienda realizar un análisis detallado en la temática de los de costos, esto debido a que el reproceso implica un costo considerable en la logística inversa de las baterías, con el objetivo buscar qué implicaciones financieras tiene el sistema de posconsumo y buscar un equilibrio económico del mismo.

BIBLIOGRAFIA

- XANDEMOS. (2017). Asociacion nacional de vehiculos automotores. ANDEMOS está comprometido con el sector automotor en Colombia, 1–3.
- Camargo, S., Franco, J., Chud, V., & Osorio, J. (2017). Modelo de simulación dinámica para evaluar el impacto ambiental de la producción y logística inversa de las llantas Dynamic simulation model to evaluate the environmental impact of production and reverse logistics of tire. *Universidad Del Norte*, 35(2), 357–381. <https://doi.org/10.14482/inde.32.2.5406>
- Centro de Información de Sustancias Químicas Emergencias y Medio Ambiente, C. (2013). Centro de Información de Sustancias Químicas, Emergencias y Medio Ambiente – CISTEMA, 1–15.
- Departamento Nacional de Planeación. (2016). Política Nacional Para La Gestión De Residuos Sólidos. *Documento CONPES 3874, I, 73*. Retrieved from <http://www.andi.com.co/Ambiental/SiteAssets/Paginas/default/CONPES 3874.pdf>
- Dost, B. P. (2016). Generalized Lead-Acid based Battery Model used for a Battery Management System, (September), 255–270.
- Felipe, L., & Uribe, P. (2012). Influencia De Los Rellenos Sanitarios En El Cambio Climatico Influence of the Landfill Sites in the Climatic Change 1, 1–13.
- Forero, E. (2011). El Transporte Público Colectivo en Bogotá - Una Mirada desde la Dinámica de Sistemas, 16(2), 18–34.
- Gómez, R. A. (2010). Logística inversa un proceso de impacto ambiental y productividad. *Inverse Logistics a Process with Environmental and Productivity Impacts. (English)*, 5(2), 1–14. <https://doi.org/10.4304/jcp.7.11.2765-2772>
- González, J. Á., & Ponce-cueto, E. V. A. (2014). LA LOGÍSTICA INVERSA Y LA RECOGIDA CAPILAR DE RESIDUOS DE PILAS Y BATERÍAS.
- Greenpeace, A. (2010). Gestion de Residuos de Pilas y Baterias. *Compañía Contra La Contaminación*, 42. Retrieved from <http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2010/7/informe-gestion-pilas-baterias.pdf>
- Hao, H., Chen, K., Liu, H., Wang, H., Liu, J., Yang, K., & Yan, H. (2018). A Review of the Positive Electrode Additives in Lead-Acid Batteries, 13, 2329–2340. <https://doi.org/10.20964/2018.03.70>
- Hoyos, D., Hincapié, M., Marín, J. M., Jiménez, L. M., & Valencia, G. M. (2013). INVENTARIO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN LAS EMPRESAS ANTIOQUEÑAS PERTENECIENTES A LOS PRINCIPALES SECTORES ECONÓMICOS DEL DEPARTAMENTO, 4(1), 27–36. <https://doi.org/10.21500/20275846.280>
- Insinga, M. G., Moncada, A., Oliveri, R. L., Ganci, F., Piazza, S., Sunseri, C., & Inguanta, R. (2017). Nanostructured Pb Electrode for Innovative Lead-acid Battery, 60, 49–54. <https://doi.org/10.3303/CET1760009>
- Kannan, G., Sasikumar, P., & Devika, K. (2010). A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model : A case of battery recycling. *Applied Mathematical Modelling*, 34(3), 655–670. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2009.06.021>
- La Asociación de Ciudades y Regiones para el Reciclaje. (2015). *GESTION DE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS(RAEE)*. Retrieved from <http://www.residuoselectronicos.net/archivos/documentos/LaGestionRAEE.pdf>
- Lacoba, S. R., & Chamorro Mera, A. (2004). Sistemas de distribución inversa para la recuperación de

residuos.

- Liu, B., Yu, W., Jin, Y., & Wang, S. (2017). Study on residual discharge time of lead-acid battery based on fitting method Study on residual discharge time of lead-acid battery based on fitting method, *020008*(May), 1–6. <https://doi.org/10.1063/1.4982373>
- Luz, F. C., Eliana, T. O., & Mauricio, G. E. (2012). Diseño de redes de logística inversa: una revisión del estado del arte y aplicación práctica a network design for a reverse logistics: a review and a practical application, *22*, 153–177.
- Manuel, J., & Calderón, S. (2012). Diagnostico Nacional De Salud Ambiental.
- Michel, B., Pais, R., Beatriz, A., Sousa, L. De, José, C., Jabbour, C., & Maria, R. (2016). The green bullwhip effect , the diffusion of green supply chain practices , and institutional pressures : Evidence from the automotive sector. *Intern. Journal of Production Economics*, *182*, 342–355. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.08.033>
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005). *Política Ambiental para la Gestion Integral de Residuos o Desechos Peligrosos*. Retrieved from https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/sustancias_químicas_y_residuos_peligrosos/Politica_Residuos_peligrosos.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2009). Resolucion 0372 de 2009, Por la cual se establece los elementos que se deben contener los planes de gestion de devolucion de productos posconsumos de baterias usadas plomo, acido y se adoptan otras disposiciones. Retrieved from <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/546-plantilla-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana-sin-galeria-42#resoluci%03n>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). Programas Posconsumo de Residuos, 2.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). *Plan de gestión de devoluciones de productos posconsumo de baterias usadas*.
- Ministerio de medio ambiente y recursos naturales, R. D. (2014). *Reglamento tecnico ambiental para la gestión de baterías ácido-plomo usadas*.
- Ministerio del medio ambiente. (2013). Contaminación ambiental causada por los residuos sólidos. *Proyecologios*, 1–6.
- Monroy, N., & Ahumada, M. C. (2006). Logística Reversa: “Retos para la Ingeniería Industrial.” *Revista de Ingeniería*, *0*(23), 23–33. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i23.349>
- Mutingi, M. (2014). The impact of reverse logistics in green supply chain management: a system dynamics analysis. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, *17*(2), 186. <https://doi.org/10.1504/IJISE.2014.061993>
- OCADE, SANIPLAN, & AMBIENTAL SA. (2009). Diagnostico ambiental sobre el manejo actual de baterias usadas generadas por mantenimiento del parque automotor de Santa Fe de Bogotá., 1–15.
- Organización mundial de la salud. (2014). Reciclaje de baterías de plomo-ácido consideraciones sanitarias.
- Ravi, V., Shankar, R., & Tripathi, N. K. (2011). Evaluation of market scenarios in automobile reverse logistics: a system dynamics approach. *International Journal of Logistics Systems and Management*, *10*(4), 437. <https://doi.org/10.1504/IJLSM.2011.043104>
- Selcuk, H., Cebeci, U., & Batuhan, M. (2015). Reverse logistics system design for the waste of electrical and electronic equipment (WEEE) in Turkey. “*Resources, Conservation & Recycling*,” *95*(January 2003), 120–132. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.12.010>
- Shi, X., Xia, L., & Lili, L. (2012). Information flow in reverse logistics : an industrial information integration study, 217–232. <https://doi.org/10.1007/s10799-012-0116-y>

Situación Automotriz 2018. (2018).

Subulan, K., Baykaso, A., Özsoydan, F. B., Tas, A. S., & Selim, H. (2015). A case-oriented approach to a lead / acid battery closed-loop supply chain network design under risk and uncertainty, 37, 340–361. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.07.013>

Subulan, K., Tas, A. S., & Baykaso, A. (2015). A fuzzy goal programming model to strategic planning problem of a lead / acid battery closed-loop supply chain, 37, 243–264. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.09.001>

ANEXOS

Anexo 1. Entrevista semiestructurada

PROPUESTA DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DINÁMICA PARA EVALUAR LOS RIESGOS AMBIENTALES Y FÍSICOS EN UN SISTEMA DE LOGÍSTICA INVERSA DE BATERÍAS.

FORMULARIO DE CARACTERIZACION DEL PROCESO DE LOGISTICA INVERSA

Datos Personales.

Nombre(s): Jorge Eduardo

Apellidos: Ospinal

Fecha: 07/09/19

Entidad en la cual labora: JOHNSON CONTROL PLANTA CLARIOS YUMBO

Área Laboral: Producción **Cargo:** Supervisor de planta **Tiempo en la Organización:** 5 Años

1. ¿Cuál es la cantidad de baterías que se fabrican anual por la empresa?

La cantidad de baterías fabricadas actualmente es de 4'000.000 anualmente que son para cubrir la demanda a nivel nacional y de exportaciones

2. ¿Qué porcentaje se maneja a nivel nacional y cual se exporta?

Actualmente la compañía exporta el 60% por esta razón el restante es para la población colombiana

3. ¿Cuál es el tiempo establecido para que la batería se cambie?

La batería después de los 12 meses debe ser cambiada ya que pierden vida útil y no funciona de la misma manera

4. ¿Cuál es la cantidad de baterías fabricadas con materia prima virgen?

Actualmente la empresa no utiliza materia prima virgen ya que toda la producción es hecha con material reciclado

5. ¿Cuál es la cantidad de baterías que ingresan para el proceso de reutilización?

Actualmente se están ingresando 150.000 baterías al mes

6. ¿Qué componentes de la batería son reutilizados?

De la batería se extraen todos sus componentes para ser reutilizados el único componente que es tratado es el electrolito para convertirse en sulfato de calcio

7. ¿cuál es la pérdida de materia o desperdicio en el proceso?

En el momento la empresa cuenta con un 10% de material que se pierde en el proceso, pero este porcentaje vuelve e ingresa de alguna u otra manera.

8. ¿de qué manera son recolectadas las baterías en el país?

Se cuentan con 5 centros de acopio llamados CAPS en las principales ciudades del país Cali, barranquilla, Medellín, Bogotá y Pereira los cuales de alguna manera se encargan de recolectar estas baterías.

9. ¿Cuál es la tasa de recolección de baterías actualmente?

La compañía en la actualidad está recolectando el 60% de la demanda nacional.

Tratamientos de datos.

Por medio de la cual se manifiesta que los datos recolectados en este formulario son única y exclusivamente para fines de investigativos de la facultad de ingenierías de la Universidad del Valle.

Teniendo en cuenta lo anterior, autorizo de manera voluntaria, previa, explícita, informada e inequívoca a la Universidad del Valle para utilizar mis datos en la investigación denominada "PROPUESTA DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DINÁMICA PARA EVALUAR LOS RIESGOS AMBIENTALES Y FÍSICOS EN UN SISTEMA DE LOGÍSTICA INVERSA DE BATERÍAS."

Firma: _____

ID: ____ No. _____

