

UCUENCA

**Facultad de Ciencias Químicas
Carrera de Ingeniería Ambiental**

**“Análisis del flujo de materiales en la fase de fin de vida de botellas PET
en el cantón Cuenca”**

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

Autoras:

Daniela Estefanía Minchala Macas
C.I. 0106624661
Correo electrónico: dannyminchala1515@gmail.com

María Paz Ullauri Balarezo
C.I. 0105836373
Correo electrónico: mariapaz.ullauri@gmail.com

Director:

Ing. Paúl Fernando Vanegas Peña, PhD.
C.I. 0102596186

Asesora:

Ing. Gabriela Carolina Sucozhañay Idrovo.
C.I. 0105386601

Cuenca, Ecuador

28-septiembre-2022

Resumen

A nivel mundial, el Polietileno Tereftalato (PET), y particularmente las botellas PET, forman parte de nuestra cotidianidad, debido especialmente a la creciente demanda de bebidas embotelladas. En el Ecuador, al igual que en muchos países en desarrollo, la información acerca de los flujos de entrada y salida asociados al sistema de gestión de botellas PET, es escasa y dispersa; por lo que conocer el estado actual y el funcionamiento de todos los procesos desde la manufactura hasta el reciclaje y comercialización, permite identificar los principales puntos clave y problemas asociados a la gestión de este material.

El presente trabajo, busca realizar una primera aproximación de la realidad ecuatoriana sobre la gestión de botellas PET, prestando especial atención en la fase de fin de ciclo de vida con un caso de estudio en el cantón Cuenca. Para esto, se empleó la metodología de Análisis de Flujo de Materiales (MFA), la cual brinda información existente de un material en particular a lo largo del tiempo dentro de un sistema espacialmente definido. Basado en el balance de entradas y salidas mediante en el principio de conservación de masa

Los resultados mostraron, que, durante el año 2019, el 86,79 % de material usado para elaborar botellas PET, corresponde a materia prima virgen, y solo el 13,21 % restante corresponde a PET reciclado; que las bebidas embotelladas abarcan el 85 % del mercado a nivel nacional, mientras que el 15 % restante corresponde al embotellado de otros productos. En la fase de fin de ciclo de vida se determinó que, los domicilios son los principales generadores de residuos de botellas de bebidas con un 69,66 %, mientras que los restaurantes e instituciones educativas son responsables del 17,95 % y 12,39 % respectivamente. Además, se identificó que los recicladores de base son los responsables de aproximadamente el 95 % de las labores de recolección de estos residuos tanto a nivel nacional como cantonal. Finalmente, con la realización del MFA y sus resultados, se identificaron los principales problemas en la aplicación de esta metodología entre los que destacan: la falta de datos, el hermetismo de información y la falta de estandarización en los procesos y registros. También, se detectaron los puntos críticos del sistema, a partir de los cuales, se plantearon propuestas de mejora que contribuyan a una adecuada gestión de este material.

Palabras Clave: Residuos de polietileno tereftalato. Botellas PET. Gestión de PET. Análisis de flujo de materiales. Fin de vida.

Abstract

Worldwide, Polyethylene Terephthalate (PET), and particularly PET bottles, are part of our daily life, mainly due to the growing demand for bottled beverages. In Ecuador, as in many developing countries, the information about the input and output flows related to the PET bottle management system is scarce and scattered; therefore, knowing the current situation and operation from Manufacturing to Recycling and Marketing of recycled products helps identify the critical points and problems associated with the management of this material.

The present study will be a first approach to the Ecuadorian reality to analyze and recommend improvements in the management of PET bottles, paying particular attention to the end-of-life phase with a case study in Cuenca. Material Flow Analysis (MFA) methodology was used in this study, to deliver a complete and consistent set of information about all flows and stocks of a particular material over time within a spatially defined system. Based on the balance of inputs and outputs through the principle of conservation of mass.

The results showed that during 2019, 86,79 % of virgin raw material was used to make PET bottles and only the remaining 13,21 % was recycled PET material. The study also showed that bottled beverages cover 85 % of the market at the national level, while the remaining 15 % corresponds to the bottling of other products. In the end-of-life cycle phase, it was determined that Homes are the main generators of beverage bottle waste with 69,66 %, while Restaurants and Educational Institutions are responsible for 17,95 % and 12,39 % respectively. In addition, this study identified that base recyclers are responsible for approximately 95 % of the collection of this waste material, both at the national and cantonal levels. Also, the main problems in this study were identified, most notably the lack of data, the secrecy of information, and the lack of processes and record standardization. Finally, proposals for improvement were given to help manage the processes involved with the use and recycling of PET.

Keywords: Polyethylene terephthalate waste. PET bottles. PET management. Material flow analysis. End of life.

1. INTRODUCCIÓN	14
1.1 OBJETIVO GENERAL:	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	15
2. MARCO TEÓRICO	16
2.1 PLÁSTICOS	16
2.2 PROBLEMÁTICA DE LOS PLÁSTICOS	18
2.3 PLÁSTICOS PET (BOTELLAS)	20
2.4 SISTEMA DE GESTIÓN DE BOTELLAS PET	22
2.5 CICLO DE VIDA	24
2.6 ANÁLISIS DE FLUJO DE MATERIALES (MFA)	24
3. MARCO REGULATORIO	26
4. METODOLOGÍA	28
4.1 MFA DE BOTELLAS PET EN ECUADOR	30
4.1.1 DEFINICIÓN DEL SISTEMA	30
4.1.1.1 Determinación del límite espacial	30
4.1.1.2 Determinación del límite temporal	31
4.1.1.3 Identificación de flujos, procesos y almacenamientos	31
4.1.2 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	38
4.1.2.1 Determinación de flujos, procesos y stocks	38
4.1.2.2 Identificación de coeficientes de transferencia	67
4.1.2.3 Determinación de incertidumbres	69
4.1.3 PROCESAMIENTO DE DATOS	76
4.1.3.1 Balance de Masa	76
4.1.3.2 Cálculo de resultados MFA: Software STAN	76
4.2 MFA EN LA FASE DE FIN DE VIDA DE BOTELLAS PET EN EL CANTÓN CUENCA	77
4.2.1 DEFINICIÓN DEL SISTEMA CANTÓN CUENCA	77
4.2.1.1 Determinación del límite espacial	77
4.2.1.2 Determinación del límite temporal	78
4.2.1.3 Identificación de flujos, procesos y almacenamientos	78
4.2.2 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.	84
4.2.2.1 Determinación de flujos, procesos y stocks	84
4.2.2.2 Identificación de coeficientes de transferencia	102
4.2.2.3 Determinación de incertidumbres	103
4.2.3 PROCESAMIENTO DE DATOS	107
4.2.3.1 Balance de Masa	107
4.2.3.2 Cálculo de resultados MFA: Software STAN	107
4.3 RETOS E INCONVENIENTES EN LA REALIZACIÓN DEL MFA NACIONAL Y CANTONAL	110

5. RESULTADOS	118
5.1 RESULTADOS SISTEMA NACIONAL	118
5.1.1 INCONVENIENTES DETECTADOS AL REALIZAR MFA DEL SISTEMA NACIONAL	123
5.2 RESULTADOS DE SISTEMA DEL CANTÓN CUENCA	126
5.2.1 INCONVENIENTES DETECTADOS AL REALIZAR MFA DEL SISTEMA CANTONAL	133
5.3 PROPUESTAS DE MEJORA PARA PROCESOS Y FLUJOS CLAVE DETECTADOS	136
6. DISCUSIÓN	139
7. CONCLUSIONES	146
8. RECOMENDACIONES	147
9. REFERENCIAS.	149
10. ANEXOS	162

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Factor de conversión de botellas plásticas PET	28
Tabla 2 Promedio de unidades de botellas por Kg	30
Tabla 3 Asunciones y exclusiones del sistema nacional.	37
Tabla 4 Datos cuantitativos levantados en la entrevista con la Manufacturera A	40
Tabla 5 Datos cualitativos levantados en la entrevista con la Manufacturera A	41
Tabla 6 Datos cuantitativos levantados en la entrevista con la Recicladora A	45
Tabla 7 Datos cualitativos levantados en la entrevista con la Recicladora A	46
Tabla 8 Datos cuantitativos levantados en la entrevista con la Recicladora B	50
Tabla 9 Datos cualitativos levantados en la entrevista con la Recicladora B	51
Tabla 10 Importación de PET virgen para el año 2019	56
Tabla 11 Entrada de materia prima HDEP para tapas	57
Tabla 12 Importación de botellas vacías	57
Tabla 13 Peso de botellas sin productos	58
Tabla 14 Exportación de productos en botellas PET	59
Tabla 15 Importación de productos en botellas PET	59
Tabla 16 Entradas de materia prima al proceso de Manufactura	60
Tabla 17 Residuos de Manufactura	61
Tabla 18 Entradas de PET al proceso de Distribución y Comercialización.	61
Tabla 19 Salidas de PET del proceso de Distribución y Comercialización.	62
Tabla 20 Exportaciones de botellas PET desde el proceso de Embotellado.	62
Tabla 21 Salidas desde el proceso de Embotellado.	63
Tabla 22 Entradas de botellas PET por importaciones al proceso de Uso y Descarte	63
Tabla 23 Salidas desde el proceso de Uso y Descarte	64
Tabla 24 Entradas al proceso de Reciclaje	64
Tabla 25 Salidas desde el proceso de Reciclaje	65
Tabla 26 Salidas desde la Comercialización de productos reciclados	66

Tabla 27	<i>Entradas al proceso de Disposición Final</i>	66
Tabla 28	<i>Coeficientes de transferencia del sistema nacional</i>	68
Tabla 29	<i>Indicadores de la Matriz de Pedigree</i>	70
Tabla 30	<i>Interpretación de resultados para la Matriz de Pedigree</i>	71
Tabla 31	<i>Matriz de Pedigree para el sistema nacional</i>	72
Tabla 32	<i>Asunciones y exclusiones del sistema nacional</i>	83
Tabla 33	<i>Actores identificados</i>	85
Tabla 34	<i>Promedio de recolección de residuos PET a pie de vereda</i>	86
Tabla 35	<i>Datos de la entrevista al Ingeniero Juan Pablo Vega, técnico de la EMAC</i>	87
Tabla 36	<i>Datos de entrevista a la Sra. Alegría Villa</i>	87
Tabla 37	<i>Datos de entrevista al Sr. Alberto Macas</i>	88
Tabla 38	<i>Generación de residuos de botellas PET en Restaurantes</i>	90
Tabla 39	<i>Generación de residuos de botellas PET en Instituciones Educativas (escuelas y colegios)</i>	91
Tabla 40	<i>Generación de residuos de botellas PET en Universidades</i>	92
Tabla 41	<i>Generación de residuos de botellas PET en Instituciones Educativas</i>	92
Tabla 42	<i>Generación de residuos de botellas PET en el cantón Cuenca</i>	93
Tabla 43	<i>Generación de residuos de botellas PET en Domicilios</i>	93
Tabla 44	<i>Recolección de botellas PET en el Punto Limpio</i>	94
Tabla 45	<i>Cantidad de residuos reciclables entregados a las asociaciones</i>	95
Tabla 46	<i>Residuos de botellas PET entregado a ARUC y El Chorro</i>	95
Tabla 47	<i>Botellas PET ingresadas en el mercado, año 2019</i>	96
Tabla 48	<i>Porcentajes de generación de residuos de botellas PET por tipo de generador</i>	97
Tabla 49	<i>Entradas de residuos de botellas PET al proceso de Recolección Formal</i>	98
Tabla 50	<i>Salidas de residuos de botellas PET del proceso de Recolección Formal</i>	98
Tabla 51	<i>Recolección Informal de residuos de botellas PET a pie de vereda</i>	99
Tabla 52	<i>Entradas de residuos de botellas PET al proceso de Recolección Informal</i>	99
Tabla 53	<i>Salidas de residuos de botellas PET del proceso de Recolección Informal</i>	100
Tabla 54	<i>Entradas de residuos de botellas PET al Preprocesamiento en El Chorro</i>	100
Tabla 55	<i>Entradas de residuos de botellas PET al Preprocesamiento en ARUC</i>	101
Tabla 56	<i>Entradas de residuos de botellas PET al Preprocesamiento Informal</i>	101
Tabla 57	<i>Salidas de residuos de botellas PET desde el proceso de Comercialización a Intermediarios locales</i>	102
Tabla 58	<i>Entradas de residuos de botellas PET al proceso de Disposición Final</i>	102
Tabla 59	<i>Coeficientes de transferencia del sistema cantonal.</i>	103
Tabla 60	<i>Matriz de Pedigree para el sistema cantonal</i>	105
Tabla 61	<i>Inconvenientes generales identificados en un MFA</i>	111
Tabla 62	<i>Inconvenientes específicos del MFA, para el sistema nacional</i>	112
Tabla 63	<i>Inconvenientes específicos del MFA, para el sistema cantonal</i>	115
Tabla 64	<i>Resumen de datos empleados en el MFA del sistema de Ecuador</i>	119
Tabla 65	<i>Resultados incertidumbre cualitativa del sistema nacional</i>	123
Tabla 66	<i>Inconvenientes específicos del sistema nacional</i>	125
Tabla 67	<i>Resumen de datos empleados en el MFA del sistema cantón Cuenca</i>	126
Tabla 68	<i>Resultados incertidumbre cualitativa del sistema cantonal</i>	130
Tabla 69	<i>Inconvenientes específicos del sistema cantonal</i>	135
Tabla 70.	<i>Propuestas de mejora del sistema de gestión de botellas PET</i>	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Esquema Metodológico para el Análisis de Flujo de Materiales</i>	29
Figura 2	<i>Límite espacial para el MFA del Ecuador</i>	31
Figura 3	<i>Diagrama del sistema nacional</i>	36
Figura 4	<i>Límite espacial para el MFA del cantón Cuenca</i>	77
Figura 5	<i>Diagrama del sistema cantonal</i>	82
Figura 6	<i>MFA de botellas PET en el Ecuador</i>	120
Figura 7	<i>Inconvenientes detectados en relación a los procesos sistema nacional</i>	123
Figura 8	<i>MFA de residuos de botellas PET en el cantón Cuenca</i>	128
Figura 9	<i>Escenario alternativo MFA de residuos de botellas PET en el cantón Cuenca</i>	132
Figura 10	<i>Inconvenientes detectados en relación a los procesos del sistema cantonal</i>	133

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Daniela Estefanía Minchala Macas, en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Análisis del flujo de materiales en la fase de fin de vida de botellas PET en el cantón Cuenca", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

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

Cuenca, 28 de septiembre de 2022.



Daniela Estefanía Minchala Macas

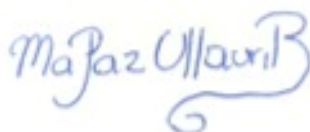
C.I: 0106624661

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

María Paz Ullauri Balarezo, en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Análisis del flujo de materiales en la fase de fin de vida de botellas PET en el cantón Cuenca", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

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

Cuenca, 28 de septiembre de 2022.



María Paz Ullauri Balarezo

C.I: 0105836373

Cláusula de Propiedad Intelectual

Daniela Estefanía Minchala Macas, autora del trabajo de titulación "Análisis del flujo de materiales en la fase de fin de vida de botellas PET en el cantón Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 28 de septiembre de 2022.



Daniela Estefanía Minchala Macas

C.I: 0106624661

Cláusula de Propiedad Intelectual

María Paz Ullauri Balarezo, autora del trabajo de titulación "Análisis del flujo de materiales en la fase de fin de vida de botellas PET en el cantón Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 28 de septiembre de 2022.



María Paz Ullauri Balarezo

C.I: 0105836373

Agradecimientos

A todo el equipo del Grupo de Investigación de Economía Circular Inclusiva y Desarrollo Sostenible, por el apoyo, conocimiento y amistad brindado hacia nosotras; de manera especial a nuestro tutor Paúl Vanegas por la confianza, experiencia compartida, y por cada comentario para ayudarnos a mejorar. A Gaby por asesorarnos de la mejor manera, compartir sus conocimientos y darnos siempre los ánimos de seguir adelante.

A los amigos que nos acompañaron a lo largo de la carrera, Isa, Mateo, Samuel, David, Magaly y Galía; gracias por todos los momentos compartidos, sin duda fueron parte fundamental de nuestra formación académica.

Finalmente, a todas las personas que conocimos en el transcurso de este trabajo, quienes hicieron que esto se convirtiera en una etapa de aprendizaje.

Dedicatoria

El esfuerzo y tiempo invertido en este trabajo van dedicados a mis padres, Daniel y Laura, por todo el apoyo brindado, por su cariño incondicional y por enseñarme a ser mejor cada día. A mis abuelos, abuelas y hermanas por todo el apoyo proporcionado a lo largo de mi etapa académica.

A todos mis amigos, amigas y personas que de una u otra forma me acompañaron en este proceso, gracias por creer en mí.

Dedicatoria

Me gustaría dedicar en estas líneas unas palabras a personas que de una forma u otra me han ayudado y aconsejado durante el proceso de formación académica que está por concluir con la investigación y redacción de este trabajo.

Especialmente, quisiera agradecer a mis padres, Miguel y Gina, que me han apoyado en todo momento, cuyos consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas, hoy les dedico este paso final. A mi hermana, quién me inspira a ser mejor.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la generación de residuos se ha visto influenciada significativamente por el acelerado crecimiento poblacional, la migración a las urbes, el cambio en los hábitos de consumo y el incremento de las actividades comerciales e industriales (Soliz, 2016). Entre las décadas de 1950 a 2020 la generación de residuos experimentó un crecimiento del 324 %, al comparar los aproximadamente 620 millones de toneladas que se generaban en 1950, con los 2010 millones de toneladas que se generan en la actualidad (Banco Mundial, 2018). Se estima que para el 2050 la generación de residuos mundial aumentará en un 70 % (Kaza et al., 2018) lo cual representa un problema grave de contaminación ambiental y ha despertado el interés en cómo lograr una adecuada gestión de los mismos (Coe et al, 2019; Zurbrügg, 2017).

En Ecuador, el problema del manejo de residuos es evidente, según Soliz (2015), alrededor del 80 % de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) no se disponen adecuadamente, terminando en vertederos controlados, botaderos a cielo abierto, celdas emergentes e incluso ríos, quebradas o terrenos baldíos. En el cantón Cuenca, en el 2019 se generaron aproximadamente 162,5 mil toneladas de residuos según datos de la Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca, EMAC (2020); de los cuales el 25,8 % corresponde a material inorgánico y de este porcentaje, solo un 19,2 % (es decir el 4,95 % del total de residuos generados), es aprovechable, incluyendo materiales como cartón, papel, vidrio, plástico suave, plástico soplado y Polietileno Tereftalato (PET) (Cajamarca et al., 2019).

De estos materiales potencialmente aprovechables, el PET, y particularmente las botellas PET figuran como un material valioso en términos de reciclaje (Choudhary et al., 2019). Dada la creciente demanda de bebidas embotelladas se estima que en el mundo se compran 1 millón de botellas de bebidas cada minuto (Travor, 2017); esto representa un problema ambiental debido a su rápido uso y descarte (Pulecio, 2019) sumado a la difícil degradación del material (UNEP, 2020). En el cantón Cuenca, el PET corresponde al 62,32 % del total de plásticos recolectados por la EMAC (Clavijo & Farez, 2018) (Zabala Celi, 2018); éste es un porcentaje importante que se debe principalmente al interés económico asociado a las características del material, su potencial de reciclabilidad y el valor social para los cientos de personas que se dedican al reciclaje (Paz, 2016).

En el Ecuador, al igual que en muchos países en desarrollo, la información acerca de las entradas y salidas asociadas al sistema de gestión de residuos de botellas PET, es

escasa y dispersa (Millete et al., 2019), pues los actores involucrados no son generadores exclusivos de PET y, por ende, no reportan de manera diferenciada sus residuos, lo que dificulta la trazabilidad de los flujos. Por esto, es importante conocer el estado actual y funcionamiento de la cadena de valor y procesos de este material, con el fin de identificar los distintos caminos que siguen los residuos de botellas PET para definir los ejes de acción claves para mejorar su gestión a nivel nacional y local.

Actualmente el Análisis de Flujo de Materiales (MFA, por sus siglas en inglés), basado en el principio de conservación de masa, es una metodología que permite identificar los caminos o líneas de movimiento de los diferentes flujos de un sistema, tomando en cuenta las entradas y salidas de cada uno de los procesos que se identifiquen dentro de este sistema (Kuczenski & Geyer, 2010).

En este contexto, es necesario asumir el reto de generar información sobre la gestión de botellas PET. Para esto, se aplicará la metodología de MFA a nivel nacional y cantonal para construir un esquema completo del sistema de gestión de este material, lo que también permitirá establecer relaciones a diferentes escalas, determinar procesos y flujos clave, identificar problemas y proponer mejoras en el actual sistema. Esto contribuirá a encaminar la toma de decisiones relacionadas con las políticas de gestión de residuos, y más adelante podrá ser empleado como una base en la evaluación de impactos ambientales.

1.1 Objetivo General:

Realizar un Análisis de Flujo de Materiales (MFA) en la fase de fin de vida de botellas PET en el cantón Cuenca.

1.2 Objetivos Específicos:

- Identificar los procesos involucrados en la fase de fin de vida de botellas PET, mediante datos disponibles y un levantamiento de información primaria y secundaria.
- Determinar cuantitativamente los flujos de materiales para la fase de fin de vida de botellas PET, utilizando como base el principio de conservación de masa.
- Analizar los resultados obtenidos, posibles inconvenientes y retos, tanto en la recopilación de datos locales, como en la construcción del MFA.

2. MARCO TEÓRICO

En esta sección, se desarrollarán conceptos utilizados a lo largo del documento para dar soporte teórico al estudio y lograr un mejor entendimiento para el lector. Se definirán conceptos relacionados con los plásticos y problemáticas de los mismos, destacando principalmente al plástico PET. También se conceptualizará la metodología del MFA y su aplicación en diferentes disciplinas alrededor del mundo.

2.1 Plásticos

Los plásticos son materiales que están constituidos principalmente por polímeros. La estructura de algunos polímeros y su estabilidad, despertó interés en la ciencia desde mediados de 1800 (Billmeyer, 1975). Por ello, se han modificado compuestos naturales con el fin de obtener materiales con características útiles para la industria (Bellis, 2020). Es así que alrededor de 1870 aparece la Parkesina (conocida hoy en día como celuloide) a partir del nitrato de celulosa, una sustancia transparente, dura, flexible y moldeable, pero con el problema de ser un compuesto altamente inflamable, difícil y costoso de producir (Plastics Industry Association, 2017).

En 1907, el químico belga Leo Hendrik Baekeland, buscó un sustituto sintético para un aislante eléctrico natural, e inventa la primera fibra sintética de plástico, la baquelita, nombrada en su honor, a partir de aditivos químicos, como el formaldehído y el fenol (Science History Institute, 2017). Este material no solo resultó ser buen aislante sino también durable, resistente al calor y, a diferencia del celuloide, ideal para la producción en masa (Science History Institute, 2014).

Se dice que la baquelita marcó el inicio de la industria global de los plásticos. A partir de ese momento, se han creado y desarrollado muchos nuevos plásticos que, dependiendo de su composición química, varían en sus características particulares. En términos generales, presentan alta resistencia, durabilidad, y flexibilidad (ONU Medio Ambiente, 2018), pueden ser moldeados para diversas aplicaciones, y a diferencia de los metales, presentan mayor resistencia química y a la corrosión (Jimenez, 2005; Mecasinc, 2017).

El conocimiento de estas propiedades, despertaron el interés de empresas químicas para invertir en la investigación y el desarrollo de nuevos polímeros (Goodman & Dodiuk, 2014), y con la llegada de la segunda guerra mundial surgió la necesidad de preservar los escasos recursos económicos e hizo de la producción de alternativas sintéticas una prioridad. Los plásticos se convirtieron en sustitutos baratos para materiales tradicionales como el marfil, pieles, vidrio, metales y madera, por lo que empezaron a

desarrollarse diferentes tipos (Lintsen et al., 2015), hasta alcanzar la amplia variedad que conocemos hoy en día.

Los tipos más comunes de plásticos, conocidos como los plásticos de producción masiva se los puede dividir en 6 categorías: 1. Polietileno (PE); 2. Polipropileno (PP); 3. Policloruro de Vinilo (PVC); 4. Poliestireno (PS); 5. Polietileno Tereftalato (PET) y 6. Poliuretano (PUR). (PlasticsEurope, 2018). Todos estos tipos de plásticos representan alrededor del 80 % de la producción total de plástico en el mundo (Górgora, 2014).

La producción de plásticos, requiere de ciertos materiales de origen orgánico como la celulosa, el carbón, el gas natural, la sal y en gran medida el uso de derivados fósiles (PlasticsEurope, 2020), los cuales se categorizan dentro de los recursos no renovables. Si se continúa con el ritmo actual de producción de plásticos, se estima que para el año 2050, esta gran industria sería la responsable de aproximadamente el 20 % del consumo total de petróleo en el mundo (Giacovelli, 2019). La mayor parte de los plásticos al ser derivados del petróleo, atraviesan un proceso de degradación muy lento llamado fotodegradación, dando lugar a fragmentos de menor tamaño llamados microplásticos, cuyos problemas se abordan en la Sección 2.2 (Giacovelli, 2019; Posada, 2012).

En la actualidad, el plástico es tan ampliamente utilizado que su producción ha aumentado hasta alcanzar el valor de 350 millones de toneladas métricas anualmente (Statista, 2018). El estudio de Geyer et al. (2017) estimó que 8300 millones de toneladas métricas han sido producidas desde 1950 hasta 2015 y se advierte que, si los patrones actuales de consumo continúan, en 2030 la producción anual de plástico será de 619 millones de toneladas a nivel global (Naciones Unidas, 2018).

Este acelerado incremento en el uso y producción del plástico, ha superado en gran medida a la de cualquier otro material manufacturado (Geyer et al., 2017), y a nivel mundial se ha visto reflejado en el aumento de la producción de plásticos de un solo uso (ONU Medio Ambiente, 2018) debido principalmente a su bajo coste de producción y su aplicación para el empaquetado de comida y bebida que puede ser fácilmente descartado (Ecoembes, 2018).

El PET, es uno de estos plásticos de un solo uso consumidos de manera masiva, estos plásticos de corta vida con los que todos estamos familiarizados, significan el surgimiento de diversos problemas relacionados principalmente con su gestión al momento de convertirse en residuos (Cobos & Lazo, 2020).

2.2 Problemática de los plásticos

Una vez que los plásticos cumplen con la función para la que fueron creados, después de uno o varios usos, se convierten en residuos (Rigamonti et al., 2014). Se estima que, del total de plásticos producidos, 6 300 millones de toneladas (75,9 %) se convirtieron en residuos durante el período de 1950 al 2015, de los cuales, alrededor del 9 % fue reciclado, 12 % incinerado y aproximadamente el 79 % fue acumulado en rellenos sanitarios, botaderos o en el ambiente natural (Geyer et al., 2017; Statista, 2020). La mala disposición y tratamiento de los residuos plásticos se ha convertido en una externalidad global (Barnes, 2019) que daña los ecosistemas, perjudica especies animales y actualmente es uno de los temas más debatidos sobre los sistemas integrados de residuos sólidos municipales a nivel mundial (Chae & An, 2018; Rigamonti et al., 2014).

A pesar de que el plástico se fabrica a partir de materiales naturales que componen el petróleo, no es un material biodegradable debido a que su proceso de fabricación artificial forma el material con enlaces carbono - carbono que los microorganismos no pueden sintetizar (Plastisax, 2016). Las condiciones de calor y presión que se necesitan para convertir los monómeros en polímeros no se producen en la naturaleza, haciéndolo irreconocible para los organismos que descomponen materiales complejos en materiales más simples (Citi GPS, 2018).

El problema ambiental del plástico proviene, principalmente, de dos de sus grandes virtudes, durabilidad y asequibilidad (Citi GPS, 2018). La característica de durabilidad representa un problema cuando a nivel mundial la recolección de los plásticos, no es eficiente (Ambarplus, 2018). Por ello, buena parte de estos residuos permanecen innecesariamente en el ambiente, siendo potenciales contaminantes de los suelos, dañando la fauna y las especies que lo habitan. Estos ecosistemas terrestres son los lugares donde se genera y se depositan estos residuos y desde donde empieza su viaje hasta los ecosistemas acuáticos (Giacovelli, 2019). A nivel global los sistemas acuáticos reciben 200 kg por segundo de basura con un alto componente de plástico, aproximadamente el 80 % (Jaén et al., 2019). Estos plásticos con el tiempo se convierten en microplástico (Rojo-Nieto & Montoto, 2017) que puede ser confundido por alimento y consumido por animales provocando daños a su organismo o incluso la muerte (Cornejo, 2017). En 2016, una investigación mostró la cantidad de fragmentos plásticos provenientes especialmente de botellas y bolsas en cadáveres de ballenas (Cózar et al., 2016). También, en 2018, un estudio determinó que el 90 % de marcas de sal muestreadas a nivel mundial contenían microplástico (Iberdrola, 2019).

Sus bajos costes de producción, que lo hacen asequible, influyen en los hábitos de consumo de la población, incrementando la demanda de estos productos, y, por ende, provocando que los desechos generados sean cada vez mayores. Estos costes también hacen que sea menos económico optar por alternativas como el reciclaje, principalmente debido a que el plástico virgen, cuyo precio depende principalmente del valor del barril de petróleo, es mucho más barato que el plástico reciclado que se encarece debido a los valores sujetos a recolección, separación y reciclaje, causando que existan pocos mercados para este último (Martínez, 2019). De la misma forma, la cantidad de energía necesaria para alimentar estos procesos es mayor que la empleada en la producción de resina virgen para algunos plásticos (Muñoz, 2019). Si se continúa con la producción de plástico virgen a los niveles actuales, se generarán emisiones de gases de efecto invernadero a escalas que amenazan la capacidad de la comunidad global para cumplir los objetivos de emisiones de carbono (Azoulay, 2019).

El plástico también trae consigo importantes problemas sociales que muchas veces no son tan evidentes, pero resaltan en países de economías emergentes, por ejemplo, la interrupción en los procesos agrícolas y ganaderos debido a un manejo ineficiente de estos materiales que acaba acumulándose como basura o contaminando el agua y el suelo (Zenner de Polanía & Peña, 2013). Otro ejemplo, está relacionado con las malas condiciones de trabajo de recicladores de base que inducen perjuicios graves para su salud y calidad de vida (Barabino, 2016), sumado a largas jornadas mal remuneradas durante las cuales recolectan materiales plásticos que muchas veces están mezclados, y en algunos casos no encuentran un mercado para su comercialización (LatinClima, 2020), provocando que sus ingresos sean por lo tanto inseguros y variables.

También es importante mencionar los problemas relacionados con la disminución del turismo o la saturación de vertederos de basura (Pilco et al., 2020; SEO & Ecoembes, 2019), y los problemas de salud que una mala gestión de estos residuos trae consigo. Un ejemplo de esto, es la quema, la cual libera compuestos volátiles que son tóxicos para el ser humano (SEO & Ecoembes, 2019). Los plásticos también pueden llegar a interferir con el saneamiento, obstruyendo alcantarillas, empozando el agua y convirtiéndose en un caldo de cultivo para mosquitos transmisores de enfermedades (Citi GPS, 2018).

Es importante destacar que el plástico ha contribuido al progreso en diversos aspectos de la vida cotidiana en los últimos 100 años (Plastigaur, 2018), la medicina moderna, industria textil, tecnológica y alimenticia son solo algunos ejemplos de sectores que han incorporado las propiedades del plástico para su desarrollo; sin embargo, es justamente

este extendido uso sumado a su mala disposición la que provoca principalmente los problemas ambientales que conocemos (Webb et al., 2013).

2.3 Plásticos PET (botellas)

El tereftalato de polietileno, polietileno tereftalato, politereftalato de etileno o comúnmente “PET”, es un policondensado de la familia de los polímeros obtenidos a partir de ácido tereftálico y etilenglicol (Plastivida Argentina, 2009). Dependiendo de la velocidad a la que es enfriado posterior al conformado, puede adoptar la característica de ser amorfo o parcialmente cristalizado (Suasnavas, 2017).

El plástico PET se ha convertido en un material con alta demanda, sus características de transparencia, baja densidad, impermeabilidad y alta resistencia lo hacen apto para diversos usos (Zambrano, 2013) e importantes aplicaciones industriales. Es así que el 70 % de todas las fibras sintéticas (nylon, poliéster, teflón, etc.) son de PET y se emplean en la fabricación de múltiples productos como textiles, tejidos y artículos de piel, pero indudablemente su uso más extendido es para embalaje de comestibles y medicamentos por su naturaleza químicamente inerte (Suasnavas, 2017).

El PET se ha vuelto el material favorito para la industria de los empaques, en especial para la rama de las bebidas no alcohólicas (Plastivida Argentina, 2009), según datos de Statista (2016), a nivel mundial el 26,1 % de la producción de PET se destinó a botellas de agua, y en conjunto alrededor del 70 % de su uso final se destinó a botellas de bebidas (Research and Markets, 2019), provocando un aumento de 300 mil millones de botellas en el año 2000 a 480 mil millones en 2016, y se estimó que esta cantidad continuó creciendo hasta los 583 mil millones de botellas para el 2021 (Choudhary et al., 2019; Euromonitor, 2017).

En Ecuador, de acuerdo a datos del Servicio de Rentas Internas (SRI) durante el período del 2012-2016, se introdujeron al mercado aproximadamente 7,7 mil millones de botellas plásticas PET (Logroño, 2018). Específicamente para el caso de Cuenca, en el año 2019, fueron 50,5 millones de botellas las que se pusieron en el mercado (SRI, 2021), estos datos tanto a nivel mundial como nacional reflejan el gran consumo hoy en día de este tipo de botellas plásticas, y la importancia que tiene su gestión una vez que se convierten en residuos.

El PET es la resina de plástico que más se recicla a nivel mundial (NCL Innovations et al, 2017), pues a través de distintos procesos puede regresar a su materia prima constituyente, que luego se convierte en rPET (PET reciclado). Hay que tener en cuenta,

que cada vez que el polímero de PET se recicla, disminuye su grado de polimerización afectando especialmente sus propiedades de resistencia mecánica, flexibilidad o rigidez (Mendez & Coreño, 2010) lo cual no es un impedimento para ciertas aplicaciones como las fibras textiles, lámina PET, envases para alimentos y otros productos (Paz, 2016), pero, si el material se quiere emplear para fabricar otra botella (bottle-to-bottle), es necesario un proceso de repolimerización (Balairón, 2017). Además, se debe considerar que hay que separar las etiquetas y las tapas de las botellas, pues éstas, al ser de otro tipo de plástico se funden a una temperatura más baja, dificultando el proceso del reciclaje (Rodríguez et al, 2017).

En América Latina y el país, la reciclabilidad del PET se resalta como una de sus mayores cualidades; sin embargo, muchos productos contienen aditivos que impiden obtener un material puro y de calidad predecible, por lo que, a pesar de su alto potencial de reciclaje, sin separación y tecnología adecuados, este proceso continúa siendo limitado (SOREMA, 2016; TercerSector, 2019). Por esto, en la mayoría de los casos la cantidad de material que termina en rellenos sanitarios, vertederos o el medio ambiente, aún supera por mucho a la cantidad que se recicla (Toro et al., 2016).

A más de los usos de PET mencionados en esta sección, también existen otras alternativas para su reutilización y reciclaje, tal es el caso de su aplicación en obras civiles, destacando principalmente aquellas relacionadas con concreto y bloques tanto en el contexto local como en otras partes del mundo (Botero et al., 2014; Bartolomé, 2018; Sánchez et al., 2018). Algunos ejemplos de estas alternativas se detallan a continuación.

En la fabricación de estas estructuras similares a bloques, se utilizan botellas PET, las cuales son rellenas con tierra u otro material y acopladas unas con otras. Este tipo de sistemas han demostrado que pueden ser de bajo impacto ambiental y económico, respondiendo adecuadamente a las necesidades funcionales y ecológicas de poblaciones vulnerables (Ruiz et al., 2012).

Un estudio realizado en Colombia por Pérez (2020), se enfocó en el diseño de sistemas de recolección de agua lluvia en comunidades, utilizando residuos de botellas PET que han sido recolectadas, obteniendo resultados prometedores que aprovechan las características de resistencia y durabilidad de este material. Otro ejemplo, a nivel nacional, es la empresa COBLOQ, que se dedica a la aplicación de rPET en bloques de cemento “alivianados” utilizando este material para la construcción de casas y edificios (Tritubot, 2020).

La construcción civil con materiales alternativos, es un tema que se encuentra en constante investigación y experimentación. En las últimas décadas este sector ha aprovechado cantidades importantes de residuos para realizar diferentes edificaciones; sin embargo, no es el único campo que aprovecha este tipo de residuos, pues en la actualidad las botellas PET también son empleadas para la elaboración de invernaderos ecológicos (Rodríguez, 2018), producción de filamentos para la impresión 3D (Pulecio, 2019), entre otros. Todos estos usos, contribuyen a resolver problemas de carácter social vinculados con vivienda, estructuras y tecnología, aportando eficientemente a la disminución de la cantidad de residuos generados (Espinosa, 2016).

2.4 Sistema de gestión de botellas PET

En el Ecuador, una vez que las botellas PET se convierten en residuos, pueden tomar diversos caminos, entre los cuales están: su disposición como residuo común, llegando de esta manera a rellenos sanitarios o botaderos siendo transportados ya sea por un colector público o de manera privada; la separación en la fuente, en la que estas botellas son destinadas para reciclaje; podrían no ser recolectados y ser reutilizados o almacenados en el mismo lugar que se generan (Gómez, 2016); y un camino que muchas de las veces es desconocido y termina de una u otra forma en algún componente ambiental (Sisalima, & Sinchi, 2016). El reciclaje es por ahora en el país, la opción más rentable y comúnmente empleada (Cajamarca et al., 2019; Sanmartín et al., 2017); sin embargo, el porcentaje de reciclaje es muy inferior con respecto a otros escenarios (Romero, 2017).

El potencial reciclable del PET lo hace importante no sólo en términos ambientales sino también socio-económicos, tanto por el valor que representa la venta de materia prima reciclada a partir de este material, como por el beneficio que significa para los miles las personas que basan su sustento en la recuperación de residuos sólidos reciclables (Iniciativa Regional para el Reciclaje inclusivo, 2015).

En el Ecuador específicamente, se estima que alrededor de 20 mil personas se dedican a esta actividad (IRR, 2014; Hungría, 2015); sin embargo, problemas como la falta de cultura de separación en la fuente que afecta a la cantidad y calidad del material aprovechable, carencia de tecnología, poca rentabilidad del negocio debido a la volatilidad de los precios del material, y la escasa política pública referente a esta actividad, dificulta el trabajo para los recicladores de base, que además se enfrentan al desinterés social, la informalidad y riesgos a su salud y seguridad que no se ve reflejado

en los ingresos que reciben por esta actividad (Romero, 2017; Red Latinoamericana de Recicladores, 2017).

En Cuenca, la gestión y manejo de residuos sólidos lo realiza la empresa pública EMAC, este proceso inicia con su recolección conjuntamente con otros materiales, éstos son retirados por los carros recolectores de la empresa o por recicladores de base. Aunque localmente se les denomina “recicladores” su papel en la cadena de residuos no es convertir éstos en nuevos productos directamente, sino ser un primer eslabón en la cadena de reciclaje mediante la recolección a pie de vereda. Esta actividad de recolección, es llevada a cabo en el cantón por aproximadamente 600 recicladores de base (El Tiempo, 2019; Burneo et al., 2020); de los cuales, sólo 176 están anexados a una de las 11 asociaciones de recicladores existentes en el 2019 y el resto son conocidos como recicladores independientes (EMAC, 2019).

El material que es recolectado por los recicladores es sometido a un preprocesamiento que en algunos casos incluye labores de clasificación, limpieza, compactación y empaquetado, para luego ser vendido a diferentes intermediarios, los mismos que se encargan de acopiar estos plásticos para después comercializarlos a industrias que procesan el plástico como materia prima (Clavijo & Fárez, 2018).

En el proceso de reciclaje de botellas PET dentro del cantón intervienen diversos actores, entre los más importantes están:

- **Generadores:** Se refiere a los hogares, comercios, industrias o instituciones públicas y privadas, son quienes generan residuos de botellas PET derivados de sus labores y actividades diarias.
- **EMAC:** Es la empresa municipal que tiene la labor de recolectar los desechos sólidos en general y materiales reciclables que se generan en el cantón.
- **Recicladores de base:** éstos pueden ser asociados o independientes. Son personas que se dedican a la recolección a pie de vereda o en centro de acopio, y el preprocesamiento de materiales reciclables, para su posterior comercialización.
- **Intermediarios:** Son personas, empresas o asociaciones que compran material a los recicladores de base u otras personas, para luego venderlas a las industrias.

- **Industrias recicladoras:** Son las industrias que compran los residuos de botellas PET a los intermediarios para transformarlos en productos reciclados, como, por ejemplo: flake, que son escamas de PET triturado; o pellets, que son pequeñas porciones de material comprimido.

La gestión en la fase de fin de vida de residuos PET, así como los actores involucrados en la misma, son un punto importante dentro de un MFA, y deben ser analizados detalladamente para obtener una visión completa de los posibles caminos que toman estos residuos (Makarichi et al., 2018).

2.5 Ciclo de Vida

El ciclo de vida de un producto o servicio comienza con la obtención de materia prima y termina con su retiro del mercado o disposición final (cradle-to-grave) (Rieznik & Hernández, 2005), en otros también incluye su reciclaje en forma de materia prima que se usa para reincorporarse al ciclo nuevamente (cradle-to-cradle) (González, 2016). En cualquiera de estos casos, dentro de este ciclo se debe identificar todas las etapas intermedias (Marathe et al., 2019), lo que generalmente suele ser complejo (Barrios, 2017) debido a la cantidad de procesos que no son visibles sin un análisis profundo.

Para facilitar esta tarea, es importante definir este ciclo como un sistema que abarca un conjunto de procesos y transformación de materiales dentro de un determinado límite (Brunner & Rechberger, 2017). En este sistema, se puede identificar las líneas de movimiento de un material de interés, considerando las entradas y salidas de éste en las distintas etapas de su ciclo de vida. A esta evaluación sistemática de entradas y salidas, se la conoce como Análisis de Flujo de Materiales (MFA por sus siglas en inglés) (Brunner & Rechberger, 2017).

Aunque el ciclo de vida del PET abarca etapas desde la obtención de materias primas hasta el fin de vida, cada una mantiene una alta complejidad, por lo que es válido que un MFA se centre solo en ciertas etapas específicas dependiendo de las necesidades del estudio. En este caso, se analiza las botellas PET desde la producción, hasta el reciclaje, y de manera más detallada la fase de fin de vida de estos residuos para un caso de estudio específico.

2.6 Análisis de Flujo de Materiales (MFA)

El Análisis de Flujo de Materiales es una metodología que identifica las líneas de movimiento de un material, bien o sustancia de interés dentro de una etapa durante su

ciclo de vida, conecta las fuentes, sus rutas y sumideros intermedios y finales. (Brunner & Rechberger, 2017). Se basa en el principio de conservación de masa, en el que “los materiales no pueden perderse” dentro de un sistema delimitado (Makarichi et al., 2018). Un estudio de MFA completo, debería estar acompañado de un análisis energético, económico y social que permita interpretar los resultados del análisis con una visión holística; sin embargo, también es válido desarrollar el MFA sin considerar todos estos aspectos, siempre y cuando se reconozca estas carencias en la interpretación de los resultados (Brunner & Rechberger, 2017).

El MFA se ha utilizado ampliamente en el manejo de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) para construir una base de datos sólida para un sistema de gestión y durante su desarrollo, identificar los puntos críticos de dicho sistema, guiar la toma de decisiones y apoyar en la construcción de soluciones y mejoras en los procesos involucrados (Zhang et al., 2017; Millward-Hopkins et al., 2018). Esta metodología se apoya en el uso de softwares para la representación gráfica del sistema, para este fin, STAN es el software gratuito más ampliamente utilizado a nivel mundial, debido a su versatilidad y a su interfaz fácilmente acoplable a estudios de MFA.

La literatura de MFA se centra en Estados Unidos y Europa principalmente (Millette et al., 2019); sin embargo, varios son los países que han realizado estudios sobre esta temática como aquellos centrados en PVC en China (Zhou et al., 2013); evaluación modular del ciclo de vida de la gestión de residuos sólidos municipales en Suiza (Haupt et al., 2018); relaciones comerciales internacionales para Chile (Giljum, 2004); los flujos de plásticos en la India (Mutha et al., 2006); biomasa y los flujos de petróleo en Trinidad y Tobago e Islandia (Krausmann et al., 2014); ecología industrial en Puerto Rico (Chertow et al., 2008); residuos sólidos domésticos y basura marina en la isla Kayangel en Palau (Owens et al., 2011); MFA para residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (Sucozhañay & Vidal, 2019); y MFA para la gestión sostenible de recursos ecosistémicos insulares en Ecuador (Cecchin, 2017), entre otros.

Específicamente para estudios de MFA realizados para plástico PET, se tiene por ejemplo un análisis comparativo realizado en Europa, sobre estrategias de circularidad relacionadas con el reciclaje de plásticos, entre ellos el PET. En este estudio se evaluó la calidad de los recursos, los canales de reciclaje y el aumento en la demanda de materiales a través de Análisis de Flujo de Materiales en distintos escenarios. Se tuvo como resultado que, con iniciativas de correcta clasificación, mejora en la tecnología y calidad de material reciclado, la tasa de reciclaje puede aumentar significativamente; y

que entre el 40 % y el 65 % de la demanda anual podría cubrirse potencialmente con plástico reciclado (Eriksen, et al., 2020).

En Latinoamérica, estos estudios son escasos. En 2018, un estudio plantea un MFA de envases PET en Perú, en el que se analiza la producción nacional, la tasa de reciclaje, importaciones, exportaciones y reinserciones al sistema tanto de envases PET como plásticos en general. Se obtuvo como resultado del análisis de los flujos que cerca del 18 % de los envases rígidos de PET producidos retornan al sistema, que el porcentaje de residuos de plástico PET que se recicla en el país es mayor al porcentaje de plásticos en general y que un alto porcentaje (78,1 %) salen del sistema y se acumulan en rellenos sanitarios, botaderos o el ambiente a nivel nacional (Díaz et al., 2020).

Luego de su surgimiento, debido a los beneficios antes mencionados, las investigaciones sobre MFA han venido evolucionando con el pasar de los años; sin embargo, aún se considera que el estudio de esta metodología se encuentra en una etapa temprana de desarrollo (Millette et al., 2019; Van Eygen et al., 2017). Estas investigaciones, se ven fuertemente limitadas por la poca disponibilidad de datos, especialmente en países en desarrollo (Islam & Huda, 2019), razón por la cual, son pocos los estudios que se han llevado a cabo en Ecuador. Es importante entonces, integrar esta metodología como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones en la gestión de recursos y residuos, determinación de impacto ambiental y evaluación de políticas públicas (Haupt et al., 2018).

3. MARCO REGULATORIO

En esta sección, se presenta la normativa vigente relacionada con la gestión de residuos de botellas PET.

Constitución de la República del Ecuador (Asamblea Constituyente, 2008).

La Constitución de la República como norma máxima del Estado ecuatoriano, reconoce como derecho el vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado (Art. 14), promueve el uso de tecnologías y energías limpias (Art. 15) y bajo esta línea, plantea el uso racional de los recursos que posee y otorga derechos a la naturaleza (Art. 83) que deben ser respetados por todos quienes se rigen por esta constitución.

Código Orgánico del Ambiente (COA).

Dentro del capítulo 2 titulado: Gestión Integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos, se promueve la formalización y fortalecimiento de los recicladores a nivel nacional como estrategia para el desarrollo, técnico, económico y social (Art. 232); Aplicación de la responsabilidad extendida del productor sobre la gestión de residuos y desechos no peligrosos, peligrosos y especiales (Art. 233).

Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD).

Es competencia exclusiva de los GAD, la prestación de manejo de residuos sólidos y saneamiento ambiental. (Art. 55 – d)

Compete a los GADs, la creación de forma progresiva de sistemas de gestión integral de desechos, con el fin de eliminar el vertido de desechos contaminantes en ríos, quebradas, lagunas, etc.; así como evitar y eliminar los vertidos en sistemas de alcantarillado. (Art. 136)

Con el fin de precautelar a las personas, al ambiente y los bienes, los funcionarios de los GADs, tienen la autoridad para el establecimiento de sanciones consideradas como tal a todo incumplimiento, por acción u omisión de las normas (Art. 395).

Ley Orgánica para la Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de un Solo Uso.

Esta ley progresiva, establece plazos para la reducción y prohibición de la comercialización y uso de bolsas y envases de plástico de un solo uso para bebidas y alimentos de consumo humano. Específicamente en relación a las botellas PET, se establece que: “Los fabricantes de preformas y/o botellas plásticas no retornables de PET para bebidas, deberán incorporar un 25 % de material R-PET grado alimenticio en la fabricación de cada preforma y/o botella.”

Valores de Conversión del número de botellas plásticas No Retornables en kilogramos.

Mediante la Resolución del SRI 860, se establecieron los valores de conversión del número de botellas plásticas no retornables, recuperadas o recolectadas, a su equivalente en kilogramos. De esta manera y mediante un artículo único se establece el nuevo valor de conversión de la siguiente manera.

Tabla 1

Factor de conversión de botellas plásticas PET

Período	Tarifa en USD por kg	No. de botellas plásticas PET
Enero a junio de 2019	USD 0,42 por kg de botellas plásticas PET	21 botellas plásticas PET por kg

Nota. Información obtenida del Servicio de Rentas Internas (2019).

Normas para devolución del Impuesto Redimible a botellas plásticas.

Mediante la resolución 565 del SRI, se establecen las normas que regulan la devolución del Impuesto Redimible a Botellas Plásticas (IRBP) y se detallan quiénes son los beneficiarios (Art. 2), los requisitos para la solicitud de devolución mensual en las ventanillas del SRI (Art. 4) montos máximos a devolver (Art. 7) y aspectos como el correcto pesaje, caracterización y etiquetado de las botellas para acceder a la devolución de este impuesto.

Normativa para uso De rPET en la fabricación de botellas plásticas.

En el acuerdo Ministerial 120 se establece una política nacional para el uso de PET reciclado (rPET) en la fabricación de preformas y botellas utilizadas en la industria de bebidas con el propósito de prevenir y reducir el impacto ambiental (Art 1), también detalla el ámbito de aplicación de la misma especificando quienes deben cumplirla de manera obligatoria (Art 2).

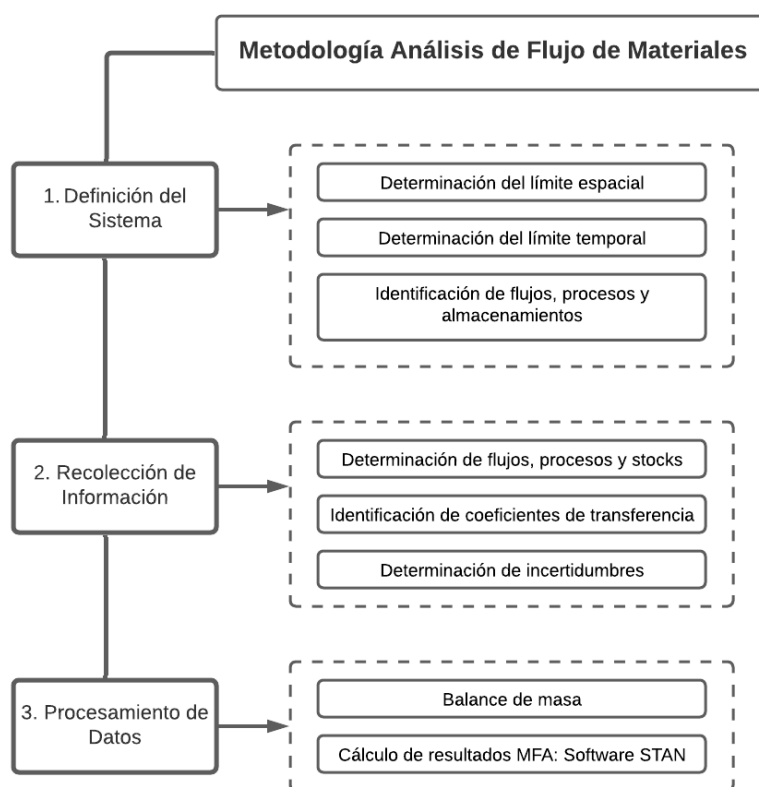
Se establece que se deberá incorporar un 25 % de material rPET grado alimenticio de origen ecuatoriano en la fabricación de cada preforma y/o botella que deberá tener el certificado sanitario expedido por ARCSA, excluyendo las preformas y/o botellas que usen procesos térmicos en su llenado (Art 6); se detallan también normas para la utilización de botellas plásticas no retornables elaboradas con rPET en la fabricación de bebidas, y la exclusión que tienen las pequeñas industrias de este acuerdo ministerial.

4. METODOLOGÍA

Para cumplir con los objetivos planteados en el presente estudio se siguió el siguiente esquema metodológico (Figura 1), con base en la descripción de la metodología de “Análisis de Flujo de Materiales” de Brunner y Rechberger (2017) sintetizada en los pasos propuestos por Bao et al., (2010).

Figura 1

Esquema Metodológico para el Análisis de Flujo de Materiales



Nota: Información extraída y adaptada de Brunner y Rechberger (2017); y Bao et al., (2010)

En primera instancia de acuerdo a los objetivos planteados, se tenía planificado la realización del MFA a nivel del fin de vida de botellas PET en el cantón Cuenca; sin embargo, durante el desarrollo de este estudio se firmó un convenio que permitió acceder a datos nacionales, por lo que se hizo un esfuerzo extra para desarrollar un MFA con datos del Ecuador. De esta manera, se aplicó el esquema metodológico en dos niveles: A nivel nacional con el objetivo de conocer la ruta general de las botellas PET en el país, y a nivel local, como un acercamiento específico a la fase de fin de vida de botellas PET en el cantón Cuenca.

Equivalencia de kilogramos a unidades de botellas PET

Como paso previo a la aplicación de la metodología se realizó una prueba experimental para definir el factor de conversión de unidades de botellas PET por kilogramo. Como se describió en la Sección 3, el SRI actualmente maneja la cifra de 21 botellas por cada

kilogramo; sin embargo, esta cifra no representa la equivalencia real, sino se utiliza con la intención de favorecer a los recicladores de base en el momento de venta del material.

Se tomaron tres conjuntos de residuos de botellas PET recolectadas por una de las asociaciones de recicladores de base del cantón, se las llevaron a la balanza electrónica industrial hasta alcanzar el peso de un kilogramo en cada prueba, posteriormente se contó el número de botellas y se registró los resultados mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2

Promedio de unidades de botellas por Kg

Número de prueba	Número de botellas por kilogramo	Promedio de número de botellas por kg
1	39	
2	35	38
3	40	

Como resultado se obtuvo que cada kilogramo de PET, equivale a 38 unidades de botellas, este valor se utilizará en adelante como número promedio de unidades de botellas por kilogramo. Para obtener un peso referencial promedio por unidad de botella PET, se dividió 1 000 gramos para el número de botellas obtenido en la Tabla 2, obteniendo de esta manera un peso promedio de 26,31 gramos por unidad de botella PET.

A continuación, el esquema metodológico se aplica para el sistema de botellas PET a nivel nacional en la Sección 4.1; y para el sistema de residuos de botellas PET en su fase de fin de vida en el cantón Cuenca en la Sección 4.2.

4.1 MFA de botellas PET en Ecuador

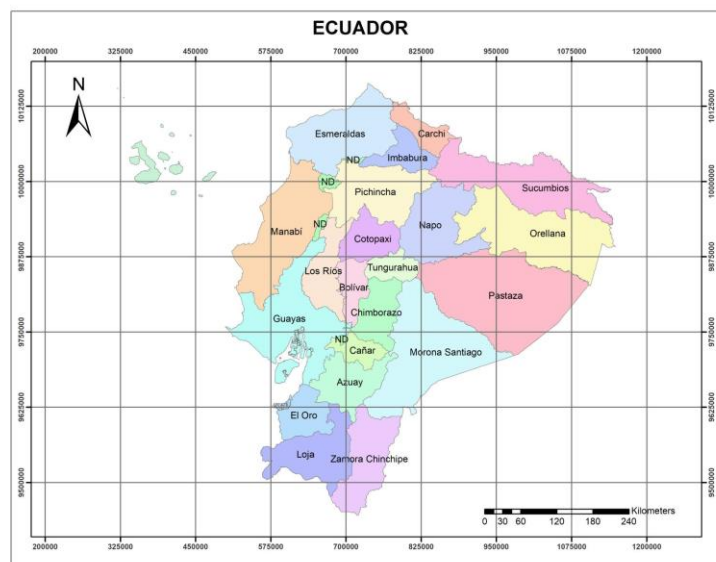
4.1.1 Definición del sistema

4.1.1.1 Determinación del límite espacial

El límite espacial se determinó conforme a la zona de estudio (Figura 2), en este caso el Ecuador, el cual cuenta con una superficie de 283 560 km² y divide su territorio en 24 provincias. Cuenta con una población aproximada de 17 510 643 habitantes según estimaciones de Ecuador en Cifras (2017) para el año 2020.

Figura 2

Límite espacial para el MFA del Ecuador



4.1.1.2 Determinación del límite temporal

El límite de tiempo del sistema nacional se definió para el lapso de 1 año, correspondiente al 2019, elegido debido a que fue el último año, hasta la elaboración de este trabajo de investigación, con datos de un año típico y representativo, pues los años posteriores se caracterizaron por su irregularidad debido a la emergencia sanitaria mundial del COVID-19 (Campo, 2021; Rivadeneira, 2021). El lapso de tiempo de un año se usa de manera predeterminada en este tipo de estudios pues permite obtener información suficiente de lo que ocurre en un período de tiempo completo, y también para facilitar la introducción de datos recolectados en el software STAN (Brunner & Rechberger, 2017). En este periodo, se consideró la cantidad de botellas PET en toneladas por año (t/año) que ingresan al sistema.

4.1.1.3 Identificación de flujos, procesos y almacenamientos

A nivel nacional, se empleó el MFA considerando únicamente los flujos másicos de material, debido a que considerar flujos de energía requiere una mayor disponibilidad de información y un levantamiento de datos complejo y detallado.

Para identificar los procesos considerados dentro del sistema nacional, se realizó una revisión de literatura basada en la metodología de Fink (2014), que considera siete pasos a seguir:

1. Formulación de preguntas de investigación
2. Selección de bases de datos
3. Selección de términos de búsqueda
4. Aplicación de criterios prácticos de selección
5. Uso de criterios de selección en una Matriz de Hallazgos
6. Revisión de los documentos
7. Resumen de los resultados

Para el paso uno, se establecieron las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuáles son las etapas que cumplen las botellas PET durante su ciclo de vida?, y ¿Cuáles son los procesos que atraviesa una botella desde su fabricación hasta su fin de vida? El segundo paso consistió en seleccionar las bases de datos a ser empleadas, mismas que fueron: Springer; Science Direct; SciELO; Google Scholar.

El tercer paso, correspondió a la definición de los términos de búsqueda clave: Ciclo de vida de botellas PET; Etapas de vida de botellas PET; y Cadena de valor de botellas plásticas.

El paso cuatro, fue la aplicación de criterios de selección para reducir el número total de elementos, por lo que se aplicaron lineamientos de exclusión. Para ello, se optó por elegir documentos a partir del año 2011, pues al utilizar la antigüedad de 5 años recomendada por la bibliografía, los resultados encontrados fueron escasos. Otro criterio de exclusión fue que los documentos encontrados contengan información en español o inglés y que contengan explícitamente información sobre el ciclo de vida o la cadena de valor de las botellas PET.

Como quinto paso, usando los criterios de selección, se elaboró una matriz de hallazgos. En el paso seis, se analizó a detalle dicha matriz mediante una lectura e identificación de datos que respondan las preguntas del paso uno; y finalmente, para el séptimo paso, se elaboró una matriz resumen (véase Anexo 2) en la que se presentó información como el año de publicación, el nombre del autor, el título del documento, y la información relevante. Esta matriz de resumen, se elaboró únicamente con aquellos resultados que aportaron a la identificación de procesos en el sistema de botellas PET

Considerando los procesos encontrados en la revisión de literatura, se estableció siete procesos principales del ciclo de vida:

1. Manufactura o Producción
2. Distribución y Comercialización
3. Embotellado
4. Uso y Descarte
5. Reciclaje
6. Comercialización de Productos Reciclados
7. Disposición Final.

En adelante, cuando se nombre estos procesos dentro del documento, se escribirá la primera letra en mayúscula para destacar que se habla específicamente del proceso contemplado en el sistema. A continuación, se describen cada uno de los procesos y lo que comprenden:

Manufactura o Producción: Se refiere al proceso de fabricación de las botellas PET que se realiza a partir de materia prima que puede ser pellet virgen o reciclado, o una combinación de los dos. Este proceso cuenta con subprocesos como: mezclado; calentado; inyectado; moldeado; alimentación de preformas; carga (riel); calentamiento; soplado; carga (tolva); y almacenado. Adicionalmente, se considera el *Molido (Reproceso)* de material como un subproceso destacado que se refiere al material excedente de los procesos de prendido de máquinas que puede ser reinsertado en el proceso de producción (Suárez & Quiroga, 2017).

Los flujos que salen desde la Manufactura corresponden a botellas PET terminadas con tapas, que llegan al proceso de Distribución y Comercialización; y un flujo de residuos, que incluye material semivirgen que se reinserta a la Manufactura, material aprovechable que se envía al Reciclaje, y rechazos o desechos que llegan a la Disposición Final al no tener ningún otro uso.

Distribución y Comercialización: Se refiere a los diferentes canales o sistemas a través de los cuales se efectúan las ventas de los productos a las industrias (Salomone, 2019), en este caso a las botellas PET vacías con tapa que llegan a las diferentes industrias que se dedican al embotellado de productos en este tipo de envases.

Embotellado: Hace referencia al proceso en el que ciertas industrias envasan bebidas, aceites, salsas y otros productos puestos en el mercado para el consumo. Dentro de este proceso, se considera el flujo de entrada de botellas PET vacías con tapa, y el ingreso de las etiquetas cuyo peso no se considera como un flujo másico representativo para el sistema (Norton, 2020).

Este embotellado se divide en 2 procesos diferentes dependiendo del producto a envasar:

- **Bebidas:** Es el flujo principal al que se dirigen las botellas PET, este proceso hace referencia al envasado de aguas, jugos, energizantes y otras bebidas alcohólicas y no alcohólicas.
- **Otros Productos:** Este flujo considera las botellas PET destinadas a envasar salsas, ajíes, diversos tipos de aceites y, champús y cosméticos.

Se realiza esta diferenciación debido a que no se las puede tomar como un solo grupo, pues solo las botellas para envasar bebidas son aptas para reciclaje en el país, debido a que no contienen sustancias que contaminen el material y dificulten este proceso.

Las salidas corresponden a las botellas PET con tapa y etiqueta, sea de bebidas o de otros productos que se dirigen al Uso y Descarte (consumo); y un flujo adicional correspondiente a la exportación de productos en botellas PET. Para estos flujos se descartó el peso del producto o contenido.

Uso y Descarte: Es el proceso en el que los productos embotellados en PET son consumidos, generándose por lo tanto residuos de botellas PET (Hundertmark, et al). Contempla los flujos de entrada desde la comercialización de productos embotellados (bebidas y otros productos), y un flujo de productos embotellados importados.

Los flujos de salida de este proceso, son los residuos de botellas PET con tapa y etiqueta que se dirigen al Reciclaje; y aquellos que toman el camino de la Disposición Final.

Reciclaje: Es el proceso mediante el cual los residuos de botellas PET, son seleccionados y aprovechados por empresas recicladoras o gestoras ambientales, para fabricar productos reciclados, que pueden ser flake (escamas) o pellets. Este proceso cuenta con subprocesos como: Recepción y clasificación; Desgarrado y ventilado; Prelavado; Molido; Lavado; Enjuague y decantación; Secado; Extrusión y pelletizado; y Empaquetado y Almacenaje. El flujo de salida de este proceso son los productos reciclados que van al proceso de Comercialización (Bermeo-Paucar, et al.).

Dentro de este proceso intervienen los recicladores de base, quienes se encargan de recolectar estos residuos desde los diferentes sitios de generación y llevarlos a los centros de acopio o comercializarlos para que ingresen al proceso de reciclaje.

Disposición Final: Se refiere al lugar, forma o proceso de disposición de aquellos residuos de botellas PET, que no han podido ser aprovechados mediante el Reciclaje (Pinos, et al., 2018). Este proceso tiene flujos de entrada de residuos de botellas PET desde la Manufactura que no han sido aptos para la distribución a embotelladoras; residuos de botellas PET que no fueron utilizados para bebidas; y los residuos de botellas PET de bebidas que no han sido recolectados para el Reciclaje.

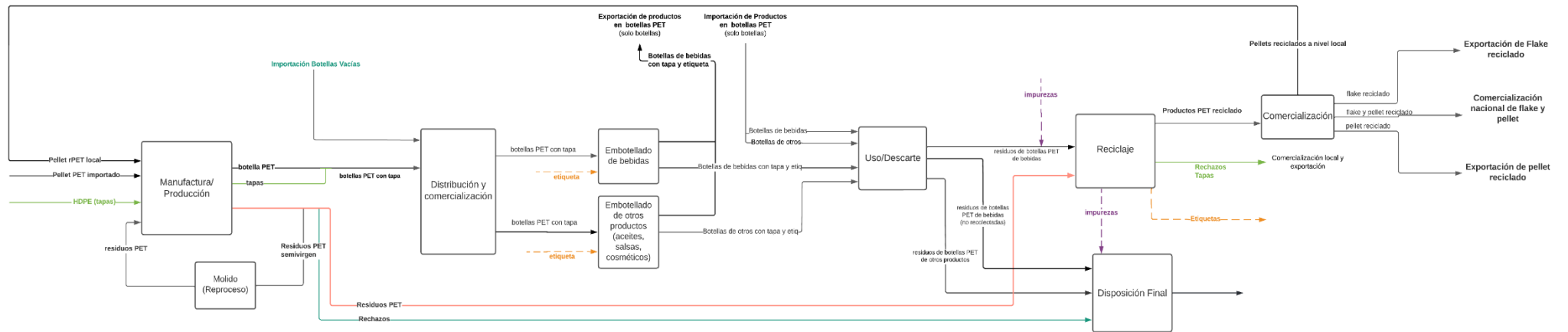
Comercialización de productos reciclados: Este proceso se refiere a la venta de los productos elaborados a partir del Reciclaje de botellas PET. Incluye un flujo de salida de pellet reciclado de grado alimenticio que se reincorpora al proceso de Manufactura del sistema; y flujos de exportación o venta local para diferentes usos (Zabala, 2018).

Estos 7 procesos y sus respectivos flujos de entradas y salidas, fueron establecidos mediante la revisión de literatura con la metodología de Fink descrita en esta sección (4.1.1.3), y fueron sometidos a una validación con expertos, la cual se describe en pasos posteriores dentro de la Sección 4.1. 2.1.1.

La Figura 3 muestra todos los procesos y flujos del sistema que han sido considerados, incluidas importaciones y exportaciones.

Figura 3

Diagrama del sistema nacional



Asunciones y Exclusiones específicas del sistema nacional

En la Tabla 3, se describen las asunciones y exclusiones que se han considerado en este sistema, así como su respectiva explicación.

Tabla 3

Asunciones y exclusiones del sistema nacional.

ASUNCIONES	EXPLICACIÓN
Se asume que, dentro del sistema, las entradas y salidas de cada etapa cumplen con la conservación de masa.	Todas las entradas son iguales a las salidas del sistema más los stocks. No existen pérdidas ni fugas del sistema que alteren la conservación de masa.
Los datos obtenidos son extrapolados de acuerdo a información secundaria para que puedan ser representativos a nivel nacional.	Se obtiene información de tres empresas específicas que aceptaron compartir información respaldadas mediante un convenio. Esta información se usa como base para desarrollar el sistema, y por ende deben ser extrapoladas para ser representativas a nivel nacional. Para controlar el error que esto pueda ocasionar se calculan incertidumbres cualitativas y cuantitativas.
Se asume que el Embotellado de productos en PET ocurre únicamente para bebidas y otros productos (que incluye salsas, aceites, champús y cosméticos).	Estas dos categorías se han identificado como aquellas que abarcan la mayor parte del mercado de botellas PET.
Se asume que los residuos provenientes del Uso y Descarte que corresponden a botellas de "Otros productos" van directamente hacia la Disposición Final.	El Reciclaje no admite botellas que no sean de bebidas, pues éstas requieren labores de limpieza complejas, lo que dificulta este proceso.
Se asume que, dentro de la Disposición Final, están todos los posibles escenarios de fin de vida que no sean reciclaje de botellas PET.	Puede incluir la reutilización, almacenamiento, acumulación en compartimentos ambientales y la disposición en rellenos sanitarios o botaderos.
Se asume un peso promedio para todas las botellas PET.	Todos los datos levantados corresponden a la generalidad de las botellas PET, despreciando su variación de peso asociado al tamaño de la botella. El valor promedio utilizado se obtuvo de manera experimental de un muestreo aleatorio con diferentes tamaños de botellas.
Se asume que todas las botellas llegan al proceso de Reciclaje con tapas y etiquetas.	Las botellas que salen del proceso de Manufactura poseen tapas, y adquieren etiqueta en el proceso del Embotellado, pero cuando son descartadas no siempre llegan en conjunto al proceso de Reciclaje; sin embargo, para facilitar el cálculo de los

	flujos se debe asumir que todas llegan con tapa y etiqueta.
Se asume para las importaciones de botellas PET vacías únicamente los valores declarados bajos las partidas “botellas” y “botellas vacías”.	Debido a la heterogeneidad en la manera de describir las partidas de importación de productos, se consideró el valor total de estas categorías.
EXCLUSIONES	EXPLICACIÓN
No se considera el peso de las etiquetas colocadas durante el proceso de embotellado de productos.	El peso de la etiqueta es menor al 1 % del peso total de una botella PET vacía y no es representativo en términos de balance de masa.
No se considera dentro del sistema, el <i>almacenaje</i> , refiriéndose a las botellas PET que se ponen en el mercado desde otros años diferentes al 2019 y se venden durante este año de referencia. Ni las botellas producidas en este año que se quedan en percha y se venden en años posteriores al 2019.	La estimación de estos flujos requiere información a la que no se ha logrado acceder, por lo que se excluye los ingresos desde años anteriores ya que es compensado con lo que queda almacenado para años futuros.
No se considera el flujo correspondiente a los residuos de botellas PET generados en las embotelladoras que son enviados a gestores ambientales.	Estos residuos representan un porcentaje muy pequeño en relación a las botellas envasadas correctamente que pasan al proceso de Uso y Descarte, por lo que se considera despreciable dentro del sistema.

4.1.2 Recolección de información

4.1.2.1 Determinación de flujos, procesos y stocks

4.1.2.1.1 Recopilación de datos primarios para determinar flujos

El levantamiento de información primaria para el sistema nacional se desarrolló dentro del marco del proyecto “Diseño de la metodología de levantamiento de datos sobre flujos de plástico (PET) en industrias para las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca” a través de un convenio firmado entre la Universidad de Cuenca, representado por el proyecto Economía Circular Inclusiva (ECI), la Escuela Superior Politécnica de Litoral (ESPOL) y la Asociación Ecuatoriana de Plásticos (ASEPLAS) suscrito el mes de junio de 2021. El objetivo del proyecto fue levantar información sobre los flujos de plásticos en el país, específicamente el PET. Dentro de este proyecto, se anexaron tres empresas de Quito y Guayaquil pertenecientes a ASEPLAS que, bajo un convenio de confidencialidad, accedieron a compartir información sobre lo que ocurre con el PET desde cada uno de sus campos de acción.

De estas tres empresas, una de ellas es manufacturera a quien se le denominará en adelante como *Manufacturera A*, y dos son recicladoras a quienes se les denominará en adelante como *Recicladora A*, y *Recicladora B* respectivamente.

A continuación, el levantamiento de información se realizó mediante entrevistas semiestructuradas para las que se convocó individualmente a cada una de las empresas, y se estipuló una hora y media por cada encuentro.

Para todas las empresas, en primer lugar, se realizó una entrevista con el propósito de conocer a sus representantes, reafirmar los objetivos y explicar el esquema metodológico con el que se propuso trabajar a lo largo del levantamiento de información.

Las preguntas fueron estructuradas con anticipación, teniendo un total de 27 preguntas organizadas en 8 bloques temáticos: Proveedores, Insumos, Aditivos, Producción, Stocks, Comercialización, Mercado y Residuos. Esta estructura fue revisada y aprobada por investigadores del Grupo ECI de la Universidad de Cuenca previo a su aplicación. Se tomó como base la estructura planteada; sin embargo, conforme avanzaron las entrevistas surgieron preguntas adicionales, variando así el número final de preguntas por empresa.

Para cada encuentro, se acordó realizar la sistematización de las preguntas levantadas para una validación de la información. Esta sistematización consistió en realizar una matriz con las preguntas y su respuesta sintetizada de acuerdo a la información relevante levantada durante el encuentro.

A continuación, se detalla cada sesión llevada a cabo para cada una de las empresas.

- **Empresa Manufacturera A**

El primer encuentro se llevó a cabo el 19 de julio de 2021, en donde se realizó un levantamiento de datos generales de la empresa y 34 preguntas enfocadas en conocer su proceso productivo. Luego de la devolución de la información, se realizó la segunda entrevista con fecha 4 de agosto del 2021. En esta sesión, se buscó complementar la información ya levantada y sistematizada, mediante la aplicación de 27 preguntas que permitieron conocer cantidades para completar la estructura y flujos del sistema.

A continuación, se presentan las matrices simplificadas de acuerdo a variables cualitativas (Tabla 4) y cuantitativas (Tabla 5) correspondiente a la información que se levantó durante las 2 entrevistas con la empresa Manufacturera A.

Tabla 4

Datos cuantitativos levantados en la entrevista con la Manufacturera A

DATOS CUANTITATIVOS				
VARIABLE GENERAL	VARIABLE INTERMEDIA	PREGUNTA	UNIDAD	CANTIDAD
Proveedores	Materia prima importada	¿Qué cantidad de materia prima importan mensualmente/anualmente?	t/año	2715
Insumos	Material reciclado	¿Qué cantidad/fracción de material reciclado utilizan en sus procesos?	%	3
	Cantidad/fracción de material reciclado en sus procesos	¿Qué cantidad/fracción de material reciclado externo utilizan en sus procesos?	t/mes	1,5
Producción	Peso por botella	¿Cuál es el peso mínimo de un envase PET?	g	10
		¿Cuál es el peso máximo de un envase PET?	g	620
	Cantidad de botellas producidas	¿Cuántas botellas se producen mensualmente?	t/mes	156
	Tipos de botellas producidas	¿Cuántos tipos de botellas producen?	unidades	500
	Cantidad de botellas aptas para el reciclaje	De las botellas producidas, ¿cuántas son aptas para un reciclaje post-consumo?	%	100
	Cantidad de rPET utilizado en la fabricación de botellas	La elaboración de estas botellas con material reciclado para Cervecería Nacional, ¿qué porcentaje ocupa de material reciclado?	%	20
	Distribución y Comercialización	Fracción de preformas comercializadas	¿Cuál es el porcentaje que representan las preformas en la comercialización?	%
Fracción de botellas comercializadas		¿Cuál es el porcentaje que representan las botellas en la comercialización?	%	90
Cantidad asignada por tipo de producto		¿Qué porcentaje de botellas PET se destina al envasado de bebidas?	%	45
		¿Qué porcentaje de botellas PET van para aceites y salsas?	%	45

		¿Qué porcentaje de botellas PET va para otros usos?	%	10
Mercado	Número de empresas transformadoras a nivel nacional.	¿Cuántas empresas participan en la producción de botellas a nivel nacional?	empresas	11
	Crecimiento anual de la empresa	¿Cuál es el crecimiento anual estimado de la empresa?	%	5.5
Residuos	Cantidad de material descartado (como desecho).	¿Qué porcentaje de la materia prima que ingresa para la producción de botellas, se desecha?	%	10
	Cantidad de residuos de mermas, que puede ser reciclado internamente.	¿Qué cantidad de residuos de las mermas de encendido de máquinas, se puede volver a utilizar en los procesos de la empresa?	%	90
	Cantidad de residuos entregados a gestor.	¿Qué cantidad de residuos PET que se entregan al gestor ambiental? (2021)	kg/año	1.199

Tabla 5

Datos cualitativos levantados en la entrevista con la Manufacturera A

DATOS CUALITATIVOS					
VARIABLE GENERAL	VARIABLE INTERMEDIA	PREGUNTA	MEDICIÓN		RESPUESTA
Proveedores	Producción local de material virgen	¿Existe producción nacional de materia prima virgen (preformas, pellets) para botellas PET?	Si/No	No	
	Principales proveedores de materia prima	¿Quiénes son los principales proveedores de insumos plásticos?	Abierta	India, China, EEUU y Colombia	
Insumos	Uso de material reciclado en la	¿Utilizan material reciclado (rPET) en la elaboración de botellas?	Si/No	Sí, únicamente para un cliente	

	producción de botellas	¿Se importa material reciclado (pellets, preformas) para utilizarlo como insumo para la elaboración de botellas PET?	Abierta	A pesar de la ley de plásticos lo exige, se hace muy poco. Aquí se hace específicamente para Cervecería Nacional y se usa rPET desde la industria Enkador.
	Insumos para producción de botellas PET	¿Cuáles son los principales insumos utilizados en la fabricación de estas botellas?	Abierta	Pellet virgen y colorantes.
	Insumos para fabricación de tapas para botellas	¿De qué material se fabrican las tapas de los envases PET?	Abierta	Polietileno + colorante (aditivo)
Producción	Botellas producidas en mayor cantidad	¿Cuáles son los tipos de botellas que más se producen mensualmente?	Abierta	Envases con peso de 23 gr Envases con peso 19 gr Envases con peso de 11.5 gr
	Procesos productivos	¿Cuáles son los principales procesos de producción de la empresa?	Abierta	Proceso Inyección de PET Proceso Soplado de PET Proceso Inyección de tapas
	Pruebas de calidad	¿Cuáles son las pruebas de calidad en producto terminado?	Abierta	Hermeticidad al vacío, pruebas de impacto, pesaje de productos, pruebas de presión interna, prueba stress cracking (envases para bebidas gaseosas), medición de dimensiones, perpendicularidad de envases, espesores de paredes, capacidad de nivel de llenado y rebose, claro de base, llenado en caliente.
Comercialización	Productos comercializados por la empresa	¿Cuáles son los productos que comercializan?	Abierta	Preformas y Botellas
	Lugares de comercialización de productos	¿A qué lugares se destina principalmente la distribución dentro del país?	Abierta	Sangolquí, Latacunga, Chimborazo, Guayaquil, Machala, Cuenca, Loja.
	Principales clientes	¿Quiénes son los principales clientes? (empresas)	Abierta	Industrial Danec, Ecopacific, Renechardon, Terrafertil, Unilever, Tesalia, Quala, Splendor, Grupo Oriental, Ile.
Mercado	Participación en el mercado nacional	¿Cuál es su participación en el mercado nacional?	Abierta	3er puesto

	Residuos PET generados por la empresa	¿Cuáles son los residuos que se generan en la empresa?	Abierta	-Desperdicios o mermas (encendido de máquinas); si es transparente, éstos se reciclan internamente. -Borlas que salen de las máquinas cuando se purgan; esto se entrega a un gestor ambiental. -Devoluciones de productos.
Residuos	Aprovechamiento de residuos	¿Qué aprovechamiento/disposición se les da a estos residuos?	Abierta	Lo que no se puede reciclar internamente, se envía a un gestor ambiental.
		¿Trabajan con asociaciones o recicladores directamente para la gestión de residuos?	Abierta	No es posible debido al plan de manejo ambiental que tiene la empresa
	Aprovechamiento por parte del gestor	¿Se conoce el destino que los gestores dan a los residuos entregados?	Abierta	Reprocesamos en molino peletizador para materia prima de insumos plásticos (Cabos finos de polipropileno y reproceso de PP/ PE/ PEAD)

- **Empresa Recicladora A**

El primer encuentro, se llevó a cabo el 21 de julio de 2021, en donde se realizó el levantamiento de datos generales y se prosiguió a realizar 36 preguntas de acuerdo a 7 bloques temáticos entre los que figuran: Insumos, Aditivos, Producción, Stocks, Comercialización, Mercado y Residuos. Estas preguntas estuvieron enfocadas en conocer el proceso productivo de la empresa. Luego de sistematizar y devolver la información, se realizó la segunda entrevista el 19 de agosto del 2021, en esta sesión, se aplicaron 16 preguntas enfocadas especialmente en los bloques de Proveedores, Reciclaje y Residuos para complementar los datos obtenidos en la primera entrevista.

A continuación, se presentan las matrices simplificadas de acuerdo a variables cualitativas (Tabla 6) y cuantitativas (Tabla 7) correspondientes a la información que se levantó durante las dos entrevistas con la empresa Recicladora A:

Tabla 6

Datos cuantitativos levantados en la entrevista con la Recicladora A

DATOS CUANTITATIVOS				
VARIABLE GENERAL	VARIABLE INTERMEDIA	PREGUNTA	UNIDAD	CANTIDAD
Proveedores	Principales proveedores	Persona natural en punto de acopio	%	15
		Recicladores en puntos de acopio	%	80
		Recicladores en planta	%	5
	Cantidad recolectada por el total de puntos de acopio	¿Se puede especificar rangos de entrada a los puntos de acopio?	t/mes	1 000
	Aporte del sector informal (recicladores de base)	¿Qué porcentaje aproximado del total de recolección, corresponde al sector informal (recicladores)?	%	95
Insumos	Cantidad de material reciclado	¿Qué cantidad/fracción de material reciclado utilizan en sus procesos?	%	100
Producción	Cantidad de pellet producido	¿Llevan registros de la cantidad que se produce al mes?	t/mes	550
	Cantidad de material aprovechado	¿Qué porcentaje de lo que entra, se aprovecha en el proceso de reciclaje?	%	85
Comercialización	Comercialización	¿Qué porcentaje de lo que se produce, se comercializa a Arca Continental?	%	100
Residuos	Cantidad de material descartado (como desecho)	Dentro de los procesos de producción, ¿Qué cantidad de residuos se generan?	%	15
		Del 15% de residuos, ¿Qué porcentaje corresponde a residuos plásticos?	%	8
	Cantidad de botellas de bebidas PET se descartan (como desecho)	¿Qué porcentaje de residuos de bebidas PET, al llegar a planta, no se aprovechan mediante el reciclaje?	%	2
	Cantidad de mermas		%	1
	Venta de residuos	¿Qué porcentaje del total de residuos plásticos producidos se vende localmente?	%	80

		¿Qué porcentaje del total de residuos plásticos producidos se exporta?	%	20
Datos Generales del Mercado	Cantidad de botellas de bebidas con respecto al total	¿Cuál es el porcentaje de botellas PET que se destina al envasado de bebidas?	%	80

Tabla 7

Datos cualitativos levantados en la entrevista con la Recicladora A

DATOS CUALITATIVOS				
VARIABLE GENERAL	VARIABLE INTERMEDIA	PREGUNTA	MEDICIÓN	RESPUESTA
Proveedores	Principales proveedores de botellas recicladas	¿Quiénes son los principales proveedores de botellas recicladas?	Abierta	Recicladores y personas en general que se acercan a los centros de acopio.
	Centros de acopio y su ubicación	¿Cuántos puntos de acopio son y en dónde se encuentran?	Abierta	7 puntos de acopio. Pichincha, Guayas, Manabí, El Oro, Loja, Santo Domingo.
		¿Los puntos de acopio con los que trabajan son construidos ustedes, o intermediarios de las ciudades donde se encuentran?	Abierta	Algunos son propios y otros mediante intermediarios, del total de puntos, el 60 % son propios.
	Trabajo con recicladores	¿Se trabaja de alguna manera directa con los recicladores?	Abierta	Los recicladores llegan a los puntos de acopio de la empresa, en la planta principal también se recibe y compra material directamente a estos recicladores (5 %) sin importar la cantidad.
	Lugar de origen de botellas recicladas	¿De dónde provienen las botellas recicladas? (lugar geográfico)	Abierta	De todas las partes del Ecuador (puntos de recolección). Principalmente de Quito y Guayaquil que abarcan un 60 % de la recolección del país.

	Importación de materia prima	¿Realizan importación de materia prima?	Sí/No	Sí, se importan formalmente.
	Tipos de botellas que ingresan	En caso de que lleguen botellas de salsas, aceites o alcohol, ¿Éstas se descartan directamente? o pueden limpiarse para entrar al proceso de reciclaje?	Abierta	En nuestro caso no, solo se reciben botellas de bebidas.
Insumos	Insumos usados en los procesos de producción	¿Cuáles son los principales insumos utilizados en sus procesos productivos?	Abierta	Únicamente botellas PET.
	Separación de material por colores	¿Realizan separación de material PET por colores, se lleva registro?	Abierta	Sí se realiza separación con su respectivo registro por color, pero no se puede tener acceso a esos registros.
	Pruebas en el material que ingresa al proceso	¿Qué ensayos/pruebas se realizan para que se apruebe el material que va a ser procesado?	Abierta	Se hace un control visual para descontar el material que no sirve. En ocasiones se realiza un muestreo al azar en pruebas en horno para determinar el tipo de polímero.
Aditivos	Uso de aditivos dentro de los procesos de producción	¿Cuáles son los principales aditivos utilizados como insumo en el proceso?	Abierta	No se utilizan aditivos.
Producción	Procesos productivos de la empresa	¿Cuáles son los principales procesos de producción de la empresa?	Abierta	Depende de la botella. Se muele (escama), se limpia (lavado y secado) y es pelletizado, finalmente, se descontamina nuevamente para que termine de grado alimenticio.
	Estacionalidad de la producción	¿La producción tiene estacionalidad?	Abierta	No, es constante.
	Temporadas de producción alta	¿Cuáles son los meses de mayor producción?	Abierta	La producción es constante por su contrato con Arca continental.
	Elaboración de productos terminados	¿Elaboran productos terminados propios?	Abierta	No, pero están en la mira de la empresa hacerlo.
Stocks (Almacenamiento)	Stock de productos	¿Tienen stocks de sus productos?	Abierta	No, todo se despacha.
Comercialización	Productos que comercializan	¿Cuáles son los productos que comercializan?	Abierta	Resina reciclada de grado alimenticio (pellets).

	Lugares de comercialización	¿A qué lugares se destina principalmente la distribución dentro del país?	Abierta	Todo localmente.
	Principales Clientes	¿Quiénes son sus principales clientes? (empresas)	Abierta	ARCA continental.
	Exportación de productos	¿Los productos se exportan a otros países? ¿A dónde?	Abierta	No realizan exportaciones.
	Usos de los productos comercializados	De los pellets que se producen en el país, conocen ¿Cuáles son los principales usos a los que se destina?	Abierta	En el país se utiliza para hacer por ejemplo láminas PET.
Residuos	Generación de residuos en la empresa	Dentro de los procesos de producción, ¿se generan residuos plásticos PET?	Abierta	Sí, un 15 % de lo que ingresa son rechazos, un 8 % son residuos plásticos y el 7 % restante, es tierra y otros materiales.
	Aprovechamiento de residuos	¿Qué aprovechamiento/disposición se les da a estos residuos?	Abierta	Los residuos plásticos (8 %), se venden a empresas que generan nuevos productos terminados.
	Proveedor de servicio de gestión de residuos	¿Quién es el proveedor del servicio de gestión de residuos?	Abierta	No tienen.
	Otros residuos que se generan	¿A más de tapas y etiquetas, existe algún otro material que se genere como residuo en la empresa?	Abierta	Las mermas en forma de tortas que se generan en la producción de resina durante el proceso de purificación del material (impurezas). Es 1 % aproximadamente.

- **Empresa Recicladora B**

El primer encuentro, se llevó a cabo el 22 de julio de 2021, en donde se realizó el levantamiento de datos generales enfocados en conocer el proceso productivo de la empresa mediante la aplicación de 38 preguntas de acuerdo a los mismos bloques temáticos descritos para la empresa Recicladora A. Luego de sistematizar y devolver la información, se realizó la segunda entrevista el 05 de agosto del 2021, en donde se aplicaron 19 preguntas que sirvieron para complementar los datos obtenidos en la primera entrevista.

A continuación, se presenta las matrices simplificadas de acuerdo a variables cualitativas (Tabla 8) y cuantitativas (Tabla 9) correspondiente a la información que se levantó durante las entrevistas 1 y 2 con la empresa Recicladora B:

Tabla 8

Datos cuantitativos levantados en la entrevista con la Recicladora B

DATOS CUANTITATIVOS				
VARIABLE GENERAL	VARIABLE INTERMEDIA	PREGUNTA	UNIDAD	CANTIDAD
Proveedores	Cantidad recolectada por punto de acopio	¿Qué cantidad de material ingresa por cada punto de acopio?	t/mes	5
	Puntos de Acopio	¿Cuántos puntos de acopio son?	unidades	300-350
	Cantidad de botellas que ingresa al mes	¿Cuántas botellas plásticas ingresan mensualmente?	t/mes	1 800
Insumos	Cantidad de material reciclado	¿Qué cantidad/fracción de material reciclado utilizan en sus procesos?	%	100
Producción	Cantidad de flake producido	¿Qué cantidad de flake se produce mensualmente?	t/mes	1 500
	Descartes	¿Cuál es el porcentaje de los descartes?	%	2
Comercialización	Exportación	¿Podría compartir con nosotros ciertos rangos de material exportado mensualmente?	t/mes	1 500
		¿Qué porcentaje del flake que se produce en la empresa es exportado?	%	80
	Cantidad de flake vendido	¿Qué porcentaje del flake que se produce en la empresa se vende localmente?	%	20
	Cantidad destinada para botellas	¿Qué porcentaje de flake se comercializa localmente para hacer botellas?	%	0
	Cantidad asignada por tipo de producto al que se destina	¿Qué porcentaje del total corresponde a botellas de bebidas frente a otros productos PET?	%	90
Mercado	Participación en el mercado	¿Cuál es su participación en el mercado nacional?	%	45
Residuos	Cantidad de material descartado (como desecho)	Dentro de los procesos de producción, ¿Qué cantidad de residuos plásticos PET se generan?	%	15
	Cantidad de material descartado (como desecho)	¿Qué cantidad de residuos (tapa y etiqueta) se generan?	t/mes	35

Cantidad de residuos vendidos	¿Qué porcentaje de residuos (tapa y etiqueta) que genera la empresa es exportado?	%	40
	¿Qué porcentaje de residuos (tapa y etiqueta) que genera la empresa se vende localmente?	%	60
Tapas y etiquetas	¿Qué cantidad de tapas se vende localmente o se exporta?	t/mes	40
	¿Qué cantidad de tapas y etiqueta se vende localmente o se exporta?	t/mes	30

Tabla 9

Datos cualitativos levantados en la entrevista con la Recicladora B

DATOS CUALITATIVOS				
VARIABLE GENERAL	VARIABLE INTERMEDIA	PREGUNTA	MEDICIÓN	RESPUESTA
	Principales proveedores de botellas recicladas	¿Quiénes son sus principales proveedores de PET reciclado (botellas recicladas)?	Abierta	Solo mediante centros de acopio, casi no se compra directamente a recicladores de base, y tienen un pequeño porcentaje de reciclaje de fuente (casas, hoteles, universidades, etc.).
Proveedores	Lugares de origen de las botellas recicladas	¿De dónde proviene este PET reciclado? (lugar geográfico, el principal)	Abierta	De todo el Ecuador, especialmente de Guayaquil (40 % - 50 %).
	Propiedad de puntos de acopio	¿Los puntos de acopio con los que trabajan son construidos por ustedes, o son intermediarios de las ciudades donde se encuentran?	Abierta	Es una modalidad mixta. Hay algunos proveedores 100 % independientes y otros que trabajan en terrenos nuestros, otros trabajan con capital nuestro, otros con camiones nuestros Y otros que son 100 % nuestros.
	Importación de botellas recicladas	¿Hacen importaciones? ¿Cuentan con registros de las mismas? (cantidad/proveedores)	Sí/No	Su fuerte no es la importación, es casi insignificante (No).

Insumos	Insumos utilizados en los procesos de producción	¿Cuáles son los principales insumos utilizados en la fabricación de los productos que realizan?	Abierta	Únicamente botellas recicladas (PET).
	Pruebas de material que ingresa al proceso	¿Qué ensayos/pruebas base se realizan para que se apruebe el material que ingresa a los procesos?	Abierta	Se hace un proceso de selección, se rechaza botellas muy degradadas o que han perdido sus características originales. no se reciben botellas de aceite, PVC, champú, alcohol y otros.
		¿Se hace pruebas para diferenciar si la botella contenía un líquido diferente a bebidas?	Abierta	No se hacen pruebas como tal, se los somete a un proceso de limpieza.
Aditivos	Uso de aditivos en el proceso	¿Cuáles son los principales aditivos utilizados como insumo en el proceso?		No utilizan aditivos.
Producción	Procesos empresariales	¿Cuáles son los principales procesos de producción de la empresa?	Abierta	1. Recepción y clasificación inicial; 2. Trommel (túnel) para separación de piedra y tierra; 3. Clasificación (descartar lo que no se muele); 4. Desgarrador y ventilador (retirar etiquetas); 5. PET Washer (lavado con detergente y soda cáustica); 6. Clasificación; 7. Molido (flakes 10-12 mm); 8. Lavado químico; 9. Tanque de flotación; 10. Secado; 11. Separación de finos; 12. Empaquetado (500kg y 1 ton); 12. Carga y distribución
	Estacionalidad	¿La producción tiene estacionalidad?	Abierta	Constante todo el año.
	Separación por colores	¿Realizan separación de material PET por colores?	Si/No	Sí, se hace una separación por colores (azul verde, café, etc.).
	Pruebas de Calidad	¿Se realizan pruebas de calidad en producto terminado?		Se miden ppm de PVC, pruebas de color, metales, humedad, punto b, y punto L.
	Calidad	¿Se podría reciclar para usos de calidad alimenticia?	Si/No	Sí, se usa principalmente para fabricas que hacen laminas PET y recipientes termoformados.
	Líneas de producción	¿Estos procesos tienen diferentes líneas de producción para los diferentes materiales? O ¿estas líneas mezclan plásticos?		Se tienen líneas diferentes para materiales diferentes.
	Tipo de botellas que ingresan	¿Lo que recibe de materia prima son solo botellas de bebidas?	Si/No	Sí, solo botellas, el resto se devuelve al proveedor.

Stocks	Stocks de productos	¿Tienen stocks de sus productos?	Sí/No	No, todo lo producido se vende.
Comercialización	Comercialización de productos	¿Cuáles son los productos que comercializan?	Abierta	Flake lavado
	Lugares de comercialización	¿A qué lugares se destina principalmente la distribución dentro del país?	Abierta	Se comercializa en Guayaquil.
	Principales clientes	¿Quiénes son sus principales clientes? (empresas)	Abierta	Empresa que hacen lámina y recipientes termoformados de grado alimenticio (En EE.UU.)
	Lugares de exportación	¿A dónde se exportan sus productos terminados?	Abierta	A EE.UU. principalmente, Europa, Brasil, Chile.
	Usos del producto comercializado	¿Cuáles son los usos a los que se destina el flake que vende localmente y externamente?	Abierta	Lo que se vende localmente se destina para hacer zunchos de PET, también para hacer pellets. De lo que se exporta, aproximadamente el 90 % se usa para hacer láminas de termoformados y recipientes, y el 10 % para hacer botellas.
	Sobredemanda de producto	¿Han tenido sobredemanda de sus productos?	Abierta	Sí, actualmente la demanda es muy alta debido al precio de materia prima.
Mercado	Principales competidores	¿Quiénes más participan en el mercado?	Abierta	Reciplásticos (1 500 ton/mes), Intercia (700 ton/mes), Enkador (aproximada 400 ton/mes), Cersa (300ton/mes) y otros pequeños completan 3 200 ton mensuales
	Demanda del mercado nacional	¿Cuál es la relación entre la recolección y demanda de PET reciclado en el país?	Abierta	Ecuador recolecta entre 40 - 45 mil toneladas de PET anual, pero su demanda de PET reciclado no es más de 8 mil toneladas.
Residuos	Tipos de residuos generados	Dentro de los procesos de producción, ¿se generan residuos plásticos?	Sí/No	Sí, tapas, etiquetas y botellas rechazadas
		¿A más de tapas y etiquetas, existe algún otro material que se genere como residuo en la empresa?	Abierta	tapas, etiquetas y otro tipo de material. Otra parte es material intangible (líquido residual), y no puede ser medido.
	Aprovechamiento de residuos	¿Qué aprovechamiento/disposición se les da a estos residuos?	Abierta	Tapa y etiqueta se vende localmente y un poco se exporta. Las botellas rechazadas se descuentan y devuelven al proveedor
		¿Se conoce el uso que se da a estos residuos (tapas y etiquetas)?	Abierta	Usualmente se usa para hacer quineros (para cajas de banano) para hacer cabos, se usa en la misma empresa

para tuberías, para hacer productos inyectados, sillas, jabas, mesas. Tanto tapas como etiquetas se pueden vender juntas como separadas.

Proveedor de servicio de gestión de residuos

¿Quién es el proveedor del servicio de gestión de residuos?

Abierta

No tienen, ellos son gestores de residuos

Luego del proceso de recopilación de datos e implementación de éstos en el sistema, conjuntamente con datos obtenidos desde información secundaria, se mantuvo en contacto con las tres empresas, para completar ciertos vacíos de información dentro del sistema.

Finalmente, con toda la información del sistema nacional sistematizada y representada en el diagrama (Figura 3), se realizaron reuniones con las empresas los días 09 y 11 de noviembre de 2021, para la devolución de la información levantada tanto de los procesos como de las cantidades correspondientes a cada uno de los flujos de entrada y salida. En estas reuniones, se resolvieron preguntas de los representantes de las empresas, se recibió retroalimentación y sugerencias menores en cuanto a subprocesos e importaciones de materia prima. Se acordó trabajar en estos comentarios y el diagrama quedó aprobado por todos los expertos.

4.1.2.1.2 Recopilación de datos secundarios para determinar los flujos

Como se menciona en la Sección 4.1.2.1.1, paralelo a las entrevistas, se realizó la revisión de fuentes secundarias desde tesis, informes académicos, bases de datos institucionales y páginas web oficiales, mismos que fueron analizados para extraer información relacionada con los procesos del ciclo de vida de botellas PET a nivel nacional, esto, con el fin de complementar los flujos y la información obtenida por fuentes primarias.

Para establecer el flujo de ingreso de materia prima virgen (pellet y resina PET), se analizaron los registros de importaciones de este tipo de material para 19 empresas del país que se dedican a la fabricación de botellas PET. Los montos de importación para cada una de éstas, fueron obtenidos de la base de datos de DataSur para el año 2019, proporcionada para este estudio por ASEPLAS. A continuación, en la Tabla 10 se presenta el valor total de importaciones que ingresaron al sistema para el año de estudio.

Tabla 10

Importación de PET virgen para el año 2019

EMPRESA	IMPORTACIÓN PET VIRGEN	
	Cantidad	Unidad
Delta Plastic	375	t/año
Agricominsa	7 699,5	t/año
Fadesa S.A.	594	t/año
TecnoPlast	374	t/año
All Plastic S.A.	264	t/año
Amtor	1 853,375	t/año
Empaqplast	2 831,215	t/año
Envalpri	110,56	t/año
Rhenania	110	t/año
Sanmindec	28 375,08	t/año
Inpropet	105,21	t/año
Imagor S.A.	66,5	t/año
Nutec S.A.	44	t/año
D'paplast	205	t/año
Mercodesarrollo	22	t/año
Milanplástico	66	t/año
Plásticos Tang	200	t/año
Dalmau	44	t/año
PlasLit	21,9	t/año
TOTAL	43 361,34	t/año

Nota. Valores de importación obtenidos desde la plataforma DataSur (2019)

En cuanto al Polietileno de Alta Densidad (HDPE) para la fabricación de tapas, se calculó un porcentaje de equivalencia correspondiente al peso de las tapas con respecto del peso total promedio de una botella que corresponde a 26,32 gramos (ver Sección 4), obteniendo que el 7,6 % (2 g) del peso total de una botella PET corresponde al peso de la tapa. Con estas consideraciones, se determinó, como se puede observar en la Tabla 11 que al sistema ingresó 4 108,72 toneladas de HDPE para la fabricación de tapas para botellas PET.

Tabla 11

Entrada de materia prima HDEP para tapas

DATOS	CANTIDAD	UNIDAD
Peso promedio de una botella + tapa	26,32	g
Peso promedio tapa	2	g
Porcentaje del total del peso de botella	7,60	%
Total de PET que ingresa al sistema	49 961,34	t/año
TOTAL PESO SOLO TAPAS	4 108,72	t/año

Otro dato recopilado mediante fuentes secundarias, corresponde al valor de importación de botellas vacías que entran al proceso Comercialización y Distribución, este dato también se obtuvo de la base de datos de DataSur considerando únicamente los rubros de importación de “Botellas” y “Botellas vacías” (Tabla 12)

Tabla 12

Importación de botellas vacías

IMPORTACIÓN DE BOTELLAS VACÍAS		
Datos	Cantidad	Unidad
Botellas PET importadas	2 344,23	t/año

Nota. Valor de importación obtenido desde la plataforma DataSur (2019).

Para los datos de importación y exportación de productos en botellas PET, se utilizó la base de datos de PROECUADOR. Esta base de datos presenta el peso total del producto más botella, por lo que se hicieron cálculos para establecer los porcentajes correspondientes al peso únicamente de las botellas sin producto de la siguiente manera:

- En primer lugar, se tomó como referencia los productos más representativos envasados en PET (agua, aceite, salsas, champús, y cosméticos) y su presentación más vendida en el mercado de acuerdo a la bibliografía (ver Tabla 13, columna “contenido del producto”).

- Debido a que el contenido se encontró en términos de volumen, este dato se transformó a gramos (Ver tabla 13, columna “peso contenido”), empleando la densidad de los productos mediante la ecuación 1.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

- Se obtuvo mediante revisión bibliográfica el peso promedio de las botellas vacías de PET con tapa que contienen dichos productos (ver Tabla 13, columna “peso de botella + tapa”)
- Finalmente, con el peso total del producto y el peso únicamente de las botellas con tapa, se obtuvo el porcentaje del peso que representan las botellas con respecto al peso total sea para bebidas o para otros productos embotellados, tal como se presenta en la tabla 13.

Tabla 13

Peso de botellas sin productos

CÁLCULO DE PESO BOTELLAS (SIN PRODUCTO)							
Producto	Contenido del Producto (promedio)	Densidad	Peso contenido	Peso botella + Tapa	TOTAL PESO	Porcentaje solo botella	Porcentaje Promedio
Agua	600 ml	1 g/ml	600 g	26,32 g	626,32 g	4,20 %	4,20 %
Aceite	1 Litro	800 g/ml	800 g	56 g	856 g	6,54 %	
Salsa	400 g	-	400 g	29 g	429 g	6,76 %	5,99 %
Champú	1 Litro	1,04 g/ml	1 040 g	47 g	1087 g	4,32 %	
Alcohol	600 ml	0,79 g/ml	474 g	32 g	506 g	6,32 %	

Una vez calculados los porcentajes del peso total, 4,20 % para “bebidas” y 5,99 % para “otros productos”, y con los montos de importación y exportación de productos obtenidos desde PROECUADOR, se calculó el peso en toneladas únicamente de botellas vacías con tapa como se muestra en las Tablas 14 y 15.

Tabla 14

Exportación de productos en botellas PET

EXPORTACIÓN			
Datos	Cantidad	Unidad	Fuente
Exportación de bebidas	2 666,02	t/año	ProEcuador,2019
Porcentaje promedio de peso solo de botellas para bebidas	4,20	%	
Exportación solo botellas PET para bebidas	112,03	t/año	
Exportación de otros productos	21 959,36	t/año	ProEcuador, 2019; Banco Central, 2019
Porcentaje promedio de peso solo de botellas para otros productos	5,99	%	
Exportación solo botellas PET para otros productos	1 314,81	t/año	
TOTAL EXPORTADO SOLO BOTELLAS	1 426,85	t/año	

Tabla 15

Importación de productos en botellas PET

IMPORTACIÓN			
Datos	Cantidad	Unidad	Fuente
Importación de bebidas	28 576	t/año	ProEcuador, 2019
Porcentaje Promedio de peso de solo botellas para bebidas	4,20	%	
Importación solo botellas PET para bebidas	1 200,86	t/año	
Importación de otros productos	23 294,97	t/año	ProEcuador 2019; Banco Central, 2019
Porcentaje Promedio de peso de solo botellas para otros productos	5,99	%	
Importación solo botellas PET para otros productos	1 394,78	t/año	
TOTAL IMPORTADO SOLO BOTELLAS	2 595,64	t/año	

4.1.2.1.3 Integración de información primaria y secundaria

Con los datos levantados de primera mano y de la revisión de fuentes secundarias, se completó la información de todos los flujos del sistema. A continuación, se presenta la integración de todos los datos de entradas y salidas en cada uno de los procesos involucrados.

Proceso de Manufactura

Las entradas de este proceso, corresponden al material PET virgen importado, pellets PET reciclados adquiridos de manera local y HDPE utilizado para la fabricación de tapas, teniendo un total de 54 070,06 toneladas de materia prima a ser utilizadas en este proceso inicial. Ver Tabla 16.

Tabla 16

Entradas de materia prima al proceso de Manufactura

ENTRADA DE MATERIA PRIMA			
Datos	Cantidad	Unidad	Fuente
Pellet Virgen Importado	43 361,34	t/año	DataSur,2019
Pellet Reciclado local a nivel nacional	6600	t/año	Recicladora A
Entrada de HDPE (tapas)	4 108,72	t/año	
TOTAL	54 070,06	t/año	

En cuanto a las salidas, tenemos 53 325,63 toneladas que corresponden a las botellas PET con tapa fabricadas que pasan al proceso de Comercialización; y tres tipos de residuos generados: 1. Reproceso, que ingresa nuevamente al proceso de manufactura por tratarse de material excedente del prendido de máquinas, 2. Residuos Aprovechables, que se envían al proceso de Reciclaje para ser tratados y 3. Rechazos, que van directo a la Disposición Final pues son desechos no aprovechables. Se utilizaron los porcentajes proporcionados por la empresa Manufacturera A, que se detallan en la Tabla 17 presentada a continuación.

Tabla 17

Residuos de Manufactura

SALIDAS DE RESIDUOS MANUFACTURA			
Datos	Porcentaje	Cantidad	Unidad
Residuos para Reproceso	3 %	1 498,84	t/año
Residuos aprovechables	1 %	499,61	t/año
Rechazos	0,49 %	244,81	t/año
TOTAL	4,49 %	2 243,26	t/año

Nota. Los porcentajes fueron proporcionados por la empresa Manufacturera A (2019).

Proceso de Comercialización y Distribución

En este proceso ingresan las botellas PET con tapa desde la Manufactura y las botellas vacías importadas como se observa en la Tabla 18, dando un total de 55 669,86 toneladas que son comercializadas a embotelladoras.

Tabla 18

Entradas de PET al proceso de Distribución y Comercialización.

DISTRIBUCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN			
Datos	Cantidad	Unidad	Fuente
Botellas PET importadas	2 344,23	t/año	DataSur, 2019
Botellas comercializadas localmente con tapa	53 325,63	t/año	
TOTAL	55 669,86	t/año	

En cuanto a las salidas, se dividen en dos grupos, por un lado, las botellas destinadas al embotellado de bebidas y por otro, las botellas para embotellado de otros productos. Los porcentajes de distribución de las botellas destinadas a cada grupo, se definieron mediante datos proporcionados por las industrias y se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19

Salidas de PET del proceso de Distribución y Comercialización.

SALIDAS DISTRIBUCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN			
Datos	Cantidad	Unidad	Fuente
Porcentaje destinado al embotellado de bebidas	85	%	Recicladora A y B
Embotellado de bebidas	47 319,38	t/año	
Porcentaje destinado al embotellado de otros productos	15	%	Recicladora A y B
Embotellado de otros productos	8 350,48	t/año	
TOTAL	55 684,86	t/año	

Proceso de Embotellado

Para los procesos de Embotellado de bebidas y Embotellado de otros productos, las entradas de las botellas provenientes desde Comercialización, de acuerdo a los porcentajes asignados en la Tabla 19, son 47 319,38 toneladas y 8350,48 toneladas respectivamente.

En cuanto a las salidas, como se muestra en la Tabla 20, se tiene un flujo de exportación de bebidas y un flujo de exportación de otros productos, en los que se considera únicamente el peso de la botella de acuerdo a los porcentajes calculados previamente en la Tabla 13.

Tabla 20

Exportaciones de botellas PET desde el proceso de Embotellado.

SALIDAS EMBOTELLADO		
Datos	Cantidad	Unidad
Exportación solo botellas PET para bebidas	112,03	t/año
Exportación solo botellas PET para otros productos	1 314,81	t/año
TOTAL EXPORTADO SOLO BOTELLAS	1 426,85	t/año

Nota. Información extraída de ProEcuador (2019).

Una vez consideradas las botellas exportadas, el valor restante corresponde a las salidas desde embotellado de “bebidas” y “otros productos” (Tabla 21) que se dirigen al proceso de Uso y Descarte.

Tabla 21

Salidas desde el proceso de Embotellado.

SALIDAS EMBOTELLADO		
Datos	Cantidad	Unidad
Uso y Descarte de botellas de bebidas	47 207,35	t/año
Uso y Descarte de botellas de otros productos	7 035,67	t/año
TOTAL	54 243,02	t/año

Proceso de Uso y Descarte de botellas

En este proceso, como se observa en la Tabla 22, adicional a las 54 243,02 toneladas que llegan desde el proceso de Embotellado, ingresan al sistema dos flujos de importación, uno de bebidas y otro de otros productos en botellas PET, de acuerdo a los porcentajes de peso respectivos calculados previamente en la Tabla 13.

Tabla 22

Entradas de botellas PET por importaciones al proceso de Uso y Descarte

ENTRADAS USO Y DESCARTE		
Datos	Cantidad	Unidad
Importación solo botellas PET para bebidas	1 200,86	t/año
Importación solo botellas PET para otros productos	1 394,78	t/año
TOTAL IMPORTADO SOLO BOTELLAS	2 595,64	t/año

Nota. Datos extraídos de ProEcuador (2019).

Las salidas de este proceso son tres (ver Tabla 23), la primera correspondiente a los residuos de botellas PET de bebidas que se dirigen al proceso de Reciclaje; la segunda

corresponde a los residuos de botellas de otros productos que se dirigen a la Disposición Final ya que no son aprovechables mediante reciclaje; y la tercera de residuos de botellas PET de bebidas que no han sido recolectadas para reciclarlas y pasan también a la Disposición Final.

Tabla 23

Salidas desde el proceso de Uso y Descarte

SALIDAS USO Y DESCARTE			
Datos	Cantidad	Unidad	Fuente
Residuos de botellas de bebidas para Reciclaje	43 567,38	t/año	
Residuos de botellas de otros productos hacia Disp. Final	8 430,45	t/año	Manufacturera A
Residuos de botellas de bebidas (no recolectadas) hacia Disp. Final	4 840,82	t/año	Manufacturera A
TOTAL	4 840,82	t/año	

Proceso de Reciclaje

Como se observa en la Tabla 24, a este proceso ingresan los residuos de botellas PET de bebidas provenientes del Uso y Descarte, y los residuos de botellas PET que provienen de la Manufactura. Es importante recalcar, que al Reciclaje únicamente ingresan las botellas de bebidas, las botellas de otros productos no se consideran pues no pueden ser recicladas por los diversos contaminantes que pueden contener y que afectarían el proceso.

Tabla 24

Entradas al proceso de Reciclaje

ENTRADAS A RECICLAJE		
Datos	Cantidad	Unidad
Residuos desde Uso/Descarte	43 567,38	t/año
Residuos desde Manufactura	499,61	t/año
TOTAL	44 067,00	t/año

En cuanto a las salidas, como se muestra en la Tabla 25, existen dos: el flujo principal que corresponde a 40 541,64 toneladas que pasan a la Comercialización de productos reciclados; y el flujo de salida de tapas que corresponde al 8 % del peso de las botellas.

Tabla 25

Salidas desde el proceso de Reciclaje

SALIDAS RECICLAJE		
Datos	Cantidad	Unidad
Productos reciclados que van a Comercialización	40 541,64	t/año
Rechazos de tapas	3 525,36	t/año
TOTAL	44 067,00	t/año

Proceso de Comercialización de productos reciclados

A este proceso ingresan los productos PET reciclados provenientes del Reciclaje para ser comercializados localmente o exportados como flake o pellet.

Entre las salidas de este proceso, se encuentra el flujo de pellets PET reciclados que se comercializan localmente y se destina para la fabricación de nuevas botellas, razón por la cual reingresa nuevamente al proceso inicial de Manufactura. Este valor fue proporcionado por la empresa Recicladora A, que para el año 2019, destinó toda su producción, es decir aproximadamente 6 600 toneladas, para la fabricación de dichas botellas. Al ser esta empresa la principal productora de pellets reciclados que se destinan a la fabricación de botellas a nivel nacional, se consideró únicamente este valor para este flujo de salida.

Adicionalmente, existen otras tres salidas contempladas, la exportación de flake reciclado, la exportación de pellet reciclado y la comercialización local de pellet y flake para otros usos que no sean la fabricación de botellas.

Del total comercializado, restando las 6 600 toneladas que se destinan a la elaboración de botellas, se tiene un total de 33 941,64 toneladas; de estas, el 80 % son exportadas y el 20 %, es decir 6 788,33 toneladas se comercializan dentro del país. Con base en datos de exportación de DataSur, de este 80 % que se exporta, el 91,34 % de exportaciones corresponde a flake, es decir 24 802,07 toneladas y el porcentaje

restante, 2 351,24 toneladas se considera que es pellet exportado. Todas estas salidas se pueden observar en la Tabla 26 presentada a continuación.

Tabla 26

Salidas desde la Comercialización de productos reciclados

SALIDAS COMERCIALIZACIÓN DE PRODUCTOS RECICLADOS			
Datos	Cantidad	Unidad	Fuente
Productos PET reciclados vendidos localmente para hacer botellas	6 600	t/año	Recicladora A
Exportación de flake reciclado	24 802,07	t/año	Recicladora B
Exportación de pellet reciclado	2 351,24	t/año	Recicladora B
Comercialización local de pellet y flake para otros usos	6 788,33	t/año	Recicladora B
TOTAL	40 541,64	t/año	

Proceso de Disposición Final.

A este proceso final llegan 3 flujos, el primero que corresponde a los rechazos que no tienen ningún otro uso desde la Manufactura, el segundo correspondiente a los residuos de botellas PET de otros productos que luego del Uso y Descarte no pueden ser aprovechados, y el tercero para los residuos de botellas de bebidas que no han sido recolectadas y no pasan al proceso de Reciclaje.

Tabla 27

Entradas al proceso de Disposición Final

ENTRADAS DISPOSICIÓN FINAL		
Datos	Cantidad	Unidad
Rechazos desde Manufactura	244,81	t/año
Residuos de botellas de otros productos	8 430,45	t/año
Residuos de botellas de bebidas (No recolectados)	4 840,82	t/año
TOTAL	13 516,08	t/año

En la Tabla 27 se puede ver que, en total, al proceso de Disposición Final llegan 13 516,08 toneladas de residuos de botellas PET que no fueron aprovechadas en el 2019.

4.1.2.2 Identificación de coeficientes de transferencia

Los coeficientes de transferencia se determinaron a partir de los flujos máxicos identificados para cada proceso del sistema, estos coeficientes son los porcentajes, expresados en valores de 0 a 1, que determinan la partición del material dentro de un proceso y se dirige a cada una de las salidas del mismo. Para ello, se estructuró una matriz con los flujos de entradas y salidas de cada proceso y se calcularon los coeficientes de tal manera que en cada proceso la suma de sus coeficientes de transferencia sean 1 o lo que es lo mismo, el 100 %.

A continuación, se presenta la Tabla 28 de coeficientes usados en el sistema:

Tabla 28

Coefficientes de transferencia del sistema nacional

PROCESO DE PARTIDA	FLUJO	PROCESO DE LLEGADA	COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA
Manufactura / Producción	Botellas PET con tapa	Distribución y Comercialización	0,959
	Residuos de botellas PET	Reciclaje	0,008
	Rechazos	Disposición Final	0,004
	Residuos PET semivirgen	Reproceso	0,027
Reproceso	Residuo PET Semivirgen	Manufactura/ Producción	0,027
Distribución y Comercialización	Botellas PET con tapa	Embotellado de bebidas	0,850
		Embotellado de otros productos	0,150
Embotellado de Bebidas	Botellas de bebidas con tapa y etiqueta	Uso y Descarte	0,997
		Exportación de bebidas en botellas PET	0,002
Embotellado de otros productos	Botellas de otros productos con tapa y etiqueta	Uso y Descarte	0,842
		Exportación de otros productos en botellas PET	0,157
Uso y Descarte	Residuos de botellas PET de bebidas	Reciclaje	0,766
	Residuos de botellas PET de otros productos	Disposición final de botellas de otros productos	0,148
	Residuos de botellas PET de bebidas	Disposición final de bebidas no recolectadas	0,085
Reciclaje	Productos PET reciclados	Comercialización	0,920
	Residuos de tapas	Comercialización y exportación de tapas	0,080
Comercialización	Pellets PET reciclados	Comercialización local de pellets reciclados	0,162
	Flake y Pellets PET reciclados	Comercialización nacional de flake y pellet	0,167
	Flake Reciclado	Exportación de flake reciclado	0,611
	Pellets PET reciclados	Exportación de pellet reciclado	0,057
Disposición Final	Residuos PET	Disposición Final	1

4.1.2.3 Determinación de incertidumbres

Para el caso de las incertidumbres cualitativas, se hizo uso de una Matriz de Pedigree como herramienta analítica de evaluación de las fuentes de datos de acuerdo a cinco características independientes (Weidema, et al 2013): fiabilidad, integridad, correlación temporal, correlación geográfica, y correlación tecnológica.

En la Tabla 29, se define de manera detallada lo que significa cada una de las puntuaciones asociadas a cada indicador.

Tabla 29

Indicadores de la Matriz de Pedigree

Indicador	1	2	3	4	5
Fiabilidad	Datos verificados basados en mediciones directas.	Datos verificados parcialmente basados en hipótesis o datos no verificados basados en mediciones directas.	Datos no verificados basados en hipótesis.	Estimaciones calificadas por expertos.	Estimaciones no calificadas y datos con origen desconocido.
Integridad	Datos representativos de todos los sitios.	Datos provenientes del 50 % de los sitios.	Datos representativos de algunos sitios.	Datos representativos de un sitio.	Representatividad desconocida.
Correlación temporal	Menos de 3 años de diferencia con el año del estudio	Menos de 6 años de diferencia con el año del estudio	Menos de 10 años de diferencia con el año del estudio	Menos de 15 años de diferencia con el año del estudio	Años de los datos desconocido
Correlación geográfica	Datos del área bajo estudio	Datos medios procedentes de un área mayor que abarca el área bajo estudio	Datos procedentes de un área menor o similar a las condiciones de producción	Datos del área con condiciones ligeramente similares de producción	Datos procedentes de un área desconocida o con condiciones de productividad diferentes
Correlación tecnológica	Datos procedentes de empresas, procesos y materiales bajo estudio	Datos procedentes de procesos y materiales bajo estudio (idéntica tecnología) pero de diferentes empresas	Datos procedentes de procesos y materiales bajo estudio pero diferente tecnología	Datos relacionados con los procesos y materiales	Datos relacionados con los procesos a escala de laboratorios o procedentes de diferente tecnología

Nota. Indicadores extraídos de Weidema, B., et al, (2013).

A los datos utilizados en el sistema, se les asignó una puntuación entre 1 y 5, de muy bueno a muy malo, para cada variable. Estos indicadores de calidad están relacionados

con la historia y origen de los datos (Weidema & Wesnaes, 1996), de esta manera cada fuente tuvo un conjunto de 5 puntuaciones cuyo valor promedio corresponde a que tan bueno o malo fue la calidad del mismo de acuerdo a la Tabla 30, presentada a continuación.

Tabla 30

Interpretación de resultados para la Matriz de Pedigree

PUNTAJE	INTERPRETACIÓN
$\leq 1,5$	MUY BUENO
1,6 - 2,5	BUENO
2,6 - 3,5	REGULAR
3,6 - 4,5	MALO
$> 4,5$	MUY MALO

En la Tabla 31 se presenta la Matriz de Pedigree con los datos evaluados de los flujos empleados en este sistema de estudio.

Tabla 31

Matriz de Pedigree para el sistema nacional

MATRIZ DE PEDIGREE									
Proceso	Proceso o flujo precedente	Valor	Fiabilidad	Integridad	Correlación temporal	Correlación geográfica	Correlación tecnológica	Promedio	Calificación (1=Muy bueno y 5=Muy malo)
Producción	Importación de pellet PET virgen	43 361,34	2	3	1	1	3	2	BUENO
	Uso de pellet PET reciclado local	6 600,00	4	4	1	3	3	3	REGULAR
	Importación de HDPE	4 108,72	3	3	1	1	3	2,2	REGULAR
	Molido Reproceso	1 498,84	2	3	1	3	2	2,2	REGULAR
Distribución y Comercialización	Manufactura/ Producción	53 325,63	2	2	1	1	2	1,6	BUENO
	Importación de botellas vacías	2 344,23	3	2	1	1	3	2	BUENO
Embotellado de bebidas	Distribución y Comercialización	47 319,38	3	3	1	2	3	2,4	REGULAR
Embotellado de Otros productos	Distribución y Comercialización	8 350,48	3	2	1	2	3	2,2	REGULAR
Exportación de productos embotellados en PET	Embotellado de bebidas	112,03	4	3	1	1	4	2,6	REGULAR
	Embotellado de Otros productos	1 314,81	4	3	1	1	4	2,6	REGULAR

Uso y Descarte	Importación de bebidas en botellas PET	1 200,86	4	3	1	1	4	2,6	REGULAR
	Importación de otros productos en botellas PET	1 394,78	4	3	1	1	4	2,6	REGULAR
	Embotellado de bebidas	47 207,35	3	3	1	2	3	2,4	REGULAR
	Embotellado de Otros productos	7 035,67	3	3	1	2	3	2,4	REGULAR
Reciclaje	Uso y Descarte	43 567,38	3	2	1	2	2	2	BUENO
	Producción / Manufactura	499,61	2	3	1	1	2	1,8	BUENO
Disposición Final	Producción / Manufactura	244,81	2	3	1	1	2	1,8	BUENO
	Uso y Descarte de botellas de otros productos	8 430,45	3	2	1	1	2	1,8	BUENO
	Uso y Descarte de botellas de bebidas no recolectadas	4 840,82	3	3	1	1	2	2	BUENO
Comercialización	Reciclaje	40 541,64	2	1	1	1	2	1,4	BUENO
Comercialización y exportación de residuos de tapas	Reciclaje	3 525,36	4	3	1	1	3	2,4	REGULAR
Exportación de flake reciclado	Comercialización	24 802,07	3	3	1	2	2	2,2	REGULAR
Exportación de pellet reciclado	Comercialización	2 351,24	3	3	1	2	2	2,2	REGULAR
Comercialización nacional	Comercialización	6 788,33	3	3	1	2	2	2,2	REGULAR

Elaboración: Autoras

También fue necesario obtener valores de incertidumbre cuantitativa de manera que se pueda conocer la dispersión de valores asociados a cada flujo considerado como verdadero. Para esto, se emplearon herramientas estadísticas para calcular el error de los flujos ingresados en el sistema.

Generalmente para este cálculo estadístico se emplean datos mensuales del año de estudio; sin embargo, al no haber registros de datos mes a mes, se tuvo que utilizar para el cálculo de las incertidumbres, valores anuales de años anteriores al 2019.

Los datos de años anteriores (2017 y 2018) fueron determinados mediante la revisión de bases de datos de importaciones de materia prima PET virgen (Véase Anexo 3, columna “años”), exportación e importación de productos en botellas PET, importación de botellas PET vacías, y producción nacional de pellets reciclados para la elaboración de botellas. Una vez obtenidos estos valores, se realizaron los cálculos correspondientes y se generaron los valores para todos los flujos.

Con los datos del 2017, 2018 y 2019, en primer lugar, se calculó la media de los mismos, empleando la ecuación 2.

$$X_{media} = \frac{\sum_0^i X_i}{n} \quad (2)$$

Donde:

X_i = datos correspondientes a cada año

n = número total de datos (3 datos correspondientes a los tres años)

Posteriormente con la ecuación 3, se calculó el error absoluto para cada año

$$Error\ absoluto = X_i - X_{promedio} \quad (3)$$

Donde:

X_i = dato correspondiente a cada año

$X_{promedio}$: promedio de los datos

De igual manera con la ecuación 4, se calculó la incertidumbre absoluta, que es el error absoluto de cada año elevado al cuadrado.

$$Incertidumbre\ absoluta = (X_i - X_{promedio})^2 \quad (4)$$

Para calcular la dispersión de los datos con respecto a la media, se calculó la desviación estándar con la ecuación 5.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{med})^2}{n-1}} \quad (5)$$

Con esta desviación, se determinó la varianza, que es el cuadrado de la misma, utilizando la ecuación 6.

$$s^2 = \sigma^2$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n ((X_i - X_{med})^2)}{n-1} \quad (6)$$

También, con la ecuación 7, se calculó el error estadístico, que es el error establecido entre la desviación estándar entre la raíz cuadrada de número de datos:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

Donde:

ε = error estadístico

Como siguiente paso se obtuvo el coeficiente de variación con la ecuación 8.

$$Cv = \frac{\sigma}{X_{media}} \quad (8)$$

Y finalmente con la ecuación 9, se obtuvo el margen de error, que corresponde al valor de incertidumbre a ser ingresada en el software STAN.

$$X_{media} \pm z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (9)$$

Donde:

$Z_{\alpha/2}$ = Punto medio de extremo de datos

En la matriz mostrada en el Anexo 3 se presentan las incertidumbres calculadas para todos los flujos involucrados en el sistema.

4.1.3 *Procesamiento de datos*

4.1.3.1 Balance de Masa

El principio de conservación de masa establece que la suma de todas las entradas del sistema debe ser igual a la suma de las salidas en base a la ecuación 10.

$$\sum_{ki} m(\text{entrada}) = \sum_{ko} m(\text{salida}) + m(\text{stock}) \quad (10)$$

Donde ki y ko representan flujos de entrada y salida respectivamente y m representa el flujo o fluctuaciones (Makarichi, Techato, & Jutidamrongphan, 2018). Se calculó este balance contabilizando todos los flujos de entrada, salida y stock del sistema para las botellas PET, teniendo como ecuación:

$$\sum 59009,92 = \sum 45493,84 + 13516,08$$

En este caso, el valor de stock m , corresponde al total de residuos que llegan a la Disposición Final como último proceso sin ningún flujo de salida.

Con esta consideración el balance de masa se cumple para el sistema de la siguiente manera:

$$\sum 59009,92 = \sum 59009,92$$

4.1.3.2 Cálculo de resultados MFA: Software STAN

Una vez constatado el balance de masa, se utilizó el software STAN 2.6 que permitió construir el modelo gráfico del sistema y presentarlo como un diagrama de Sankey. Para esto, en primer lugar, se introdujeron los procesos, flujos y límites del sistema previamente validados. Luego, se ingresaron los valores de entrada y se asignaron los coeficientes de transferencia para cada proceso de acuerdo a la información recopilada en pasos anteriores. Se corrigieron los errores, se ajustaron los flujos hasta alcanzar la coherencia del sistema y finalmente, se ingresaron los valores de incertidumbre para todos los flujos, obteniéndose el MFA de botellas PET para Ecuador.

A continuación, se presenta el desarrollo de la metodología (Figura 1), pero aplicada al cantón Cuenca, como un acercamiento al proceso de Uso y Descarte que contempla el fin de vida de las botellas PET.

4.2 MFA en la fase de fin de vida de botellas PET en el cantón Cuenca

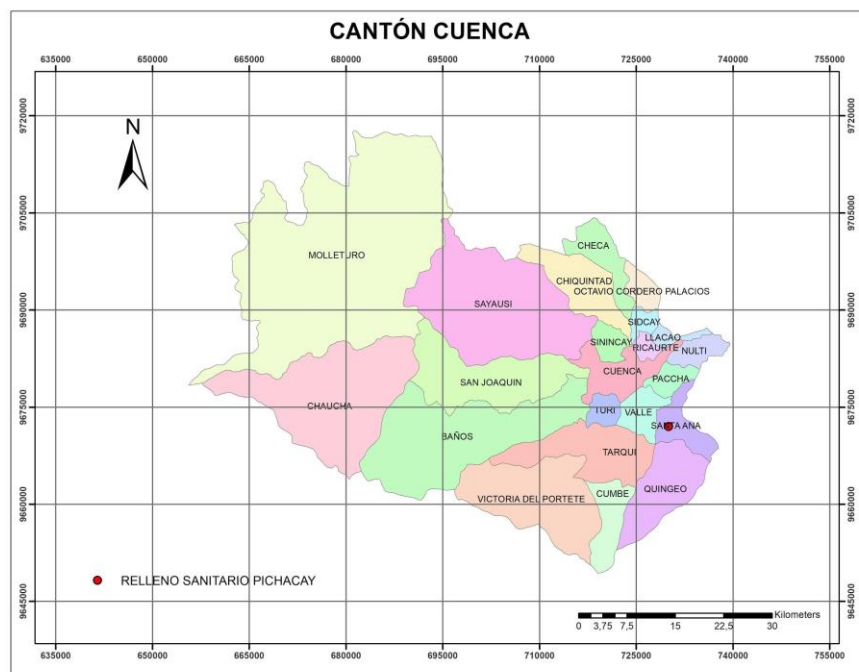
4.2.1 Definición del sistema cantón Cuenca

4.2.1.1 Determinación del límite espacial

El cantón Cuenca pertenece a la provincia de Azuay y cuenta con una superficie total de 3 200 km² (SNI, 2014), divide su territorio en 36 parroquias (Figura 4), de las cuales 15 son parroquias urbanas y 21 son rurales. El cantón cuenta con una población aproximada de 636 996 habitantes según estimaciones de Ecuador en Cifras (2017) para el año 2020.

Figura 4

Límite espacial para el MFA del cantón Cuenca



4.2.1.2 Determinación del límite temporal

El límite de tiempo del sistema se definió para el lapso de 1 año, correspondiente al 2019, por los mismos motivos especificados en la Sección 4.1.1.2 del sistema nacional. En este período se consideró la cantidad de botellas PET para bebidas alcohólicas, no alcohólicas, gaseosas, no gaseosas y de agua, en toneladas por año (t/año) que ingresaron al sistema.

4.2.1.3 Identificación de flujos, procesos y almacenamientos

En este caso, una vez obtenido el MFA nacional, se tomó la información concerniente al proceso de Uso y Descarte para poder analizarlo a mayor detalle con un caso de estudio enfocado en el MFA de la fase de fin de vida de botellas PET en el cantón Cuenca. Se consideró, al igual que en el sistema nacional, únicamente los flujos másicos del material.

Para identificar los procesos considerados dentro del sistema, se siguió nuevamente la metodología de Fink (Fink, 2014), considerando los siete pasos descritos en la sección 4.1.1.3 dentro del sistema nacional.

Para el paso uno, se establecieron las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuáles son las etapas que cumplen las botellas PET cuando se convierten en residuos? ¿Quiénes son los principales generadores de residuos de botellas PET?, y ¿Cuáles son los procesos que atraviesan las botellas PET una vez que se convierten en residuos? En el segundo paso se establecieron las bases de datos a ser empleadas, las mismas que fueron: Springer; Science Direct; SciELO; y Google Scholar.

El tercer paso, corresponde a los criterios de selección general en base a los términos de búsqueda clave: Gestión de residuos de botellas PET; Gestión de residuos reciclables en Cuenca; Manejo de residuos PET; Grandes generadores de residuos de botellas PET. Para el paso cuatro, en la definición de lineamientos de exclusión, se eligieron documentos a partir del año 2011, para ampliar el número de resultados. Además, se consideró que los documentos encontrados contengan información específicamente en español o inglés y que contengan explícitamente información sobre los procesos de gestión de residuos PET en el Ecuador.

En el paso cinco, se elaboró una matriz de hallazgos, que se analizó más detalladamente en el sexto paso mediante una lectura e identificación de datos que

respondan las preguntas del paso uno, y finalmente para el séptimo paso se elaboró una matriz resumen (véase Anexo 4) en la que se presentó información como el año de publicación, el nombre del autor, el título del documento, y la información relevante únicamente de aquellos resultados que aportaron a la identificación de procesos en el sistema de gestión de residuos de botellas PET.

Con los resultados de la revisión sistemática de bibliografía, se pudieron identificar dentro de los límites del sistema, los procesos que tienen lugar desde que se generan dichos residuos, hasta su comercialización sea dentro o fuera del límite cantonal. Estos procesos son:

1. Generación
2. Recolección
3. Preprocesamiento
4. Comercialización a intermediarios
5. Disposición Final

En adelante, cuando se nombre estos procesos dentro del documento, se escribirá la primera letra en mayúscula para destacar que se habla específicamente del proceso contemplado en el sistema. A continuación, se describen los procesos identificados en la gestión de residuos de botellas PET del cantón Cuenca y lo que comprende cada uno de ellos:

Generación Domiciliaria: Se refiere a la generación de residuos de botellas PET, asociados a los domicilios del cantón. En este grupo, también se incluye los residuos provenientes de tiendas, oficinas, boutiques, hoteles, farmacias, y otros, cuya recolección no es diferenciada de la domiciliaria y no existe una generación significativa de estos residuos que justifique considerarlos por separado. Los generadores industriales, se incluyeron también en este grupo, pues son muy pocas las industrias que generan botellas PET como residuos, y aquellas que lo hacen, disponen de éstos mediante la EMAC bajo una figura similar de recolección que los domicilios.

Generación Restaurantes: Incluye los residuos PET generados por restaurantes, fuentes de soda y otros establecimientos de venta de alimentos preparados. En el cantón según datos del Ministerio de Turismo, para el año 2019, se ha detectado un total de 1 327 establecimientos registrados para estos fines, de los cuales 930 se catalogaron como restaurantes grandes, y 327 como medianos (MINTUR,2019). Los

patios de comidas de los centros comerciales se encuentran dentro de este grupo, pues son los principales generadores de residuos de botellas PET en estos sitios.

Generación Instituciones Educativas: Son los residuos de botellas PET generados en las 447 instituciones educativas que se registraron en el 2019 por el Ministerio de Educación en el Distrito Norte y Sur del cantón. Se consideró las escuelas y colegios pertenecientes al cantón Cuenca, ya sean fiscales, particulares o fiscomisionales. También se consideró la generación en las cuatro universidades pertenecientes al cantón, de acuerdo al número de estudiantes registrados en el 2019 (Fiallo, 2020).

Recolección Punto Limpio: Incluye residuos de botellas PET generados en los domicilios, pues de acuerdo a datos de la EMAC, son éstos quienes únicamente se acercan al Punto Limpio ubicado en la Av. 24 de Mayo a depositar sus residuos. Los residuos recolectados mediante este mecanismo, son posteriormente entregados a la asociación de El Chorro con la que tienen convenio (Iñiguez, 2019).

Recolección Formal: Se refiere a la recolección diferenciada, realizada por la empresa pública EMAC desde Domicilios, Restaurantes y Unidades Educativas con una cobertura del 92,6 % dentro del cantón. Los residuos de botellas PET se almacenan en las fundas de color celeste junto con otros materiales reciclables, y son entregados a la Asociación de los Recicladores Urbanos de Cuenca (ARUC), y a la Asociación El Chorro, con quienes se mantiene un convenio para la entrega de este material (EMAC, 2019).

Preprocesamiento El Chorro: Se refiere a los procesos a los que son sometidos los residuos de botellas PET entregados por la EMAC una vez que llegan al centro de acopio de la asociación “El Chorro”. Dentro de este proceso, los residuos son sometidos a clasificación, limpieza y empaquetado. En este centro de acopio se cuenta con una banda transportadora para facilitar las labores de clasificación.

Preprocesamiento ARUC: Son las labores de clasificación, limpieza y empaquetado de los residuos de botellas PET entregados a ARUC. Incluye los residuos entregados por la EMAC, y los residuos que provienen de recolección gestionada por la asociación.

A pesar de que estas dos asociaciones trabajan bajo convenio y en conjunto con la EMAC, y por ello se consideran como parte de la modalidad “formal”, continúan siendo recicladores informales, pues sus labores no están reguladas ni amparadas por la ley.

Recolección Informal: Es la recolección de residuos conformada por personas conocidas como recicladores de base o a pie de vereda, quienes realizan la recolección de forma manual buscando material reciclable en los depósitos de residuos, empleando medios de transporte no motorizados como triciclos, carritos y carretillas. Se incluyen tanto a los recicladores miembros de alguna asociación, como a quienes realizan sus actividades de manera independiente (ECI, 2020).

Preprocesamiento informal: Hace referencia a las actividades de selección, clasificación, limpieza, compactación y empaquetado de los residuos de botellas PET, entendiéndose que puede realizarse al menos una de estas actividades. Pueden ser llevadas a cabo de forma individual o colectiva por los recicladores de base ya sea en lugar de recolección, en sus domicilios o en el lugar específico destinado al almacenamiento de los materiales recolectados.

Comercialización a intermediarios locales: Incluye todos los residuos que son comercializados a intermediarios dentro del cantón por parte de los centros de acopio ARUC y El Chorro, y por los recicladores de base informales de manera individual o colectiva (Clavijo & Farez, 2018).

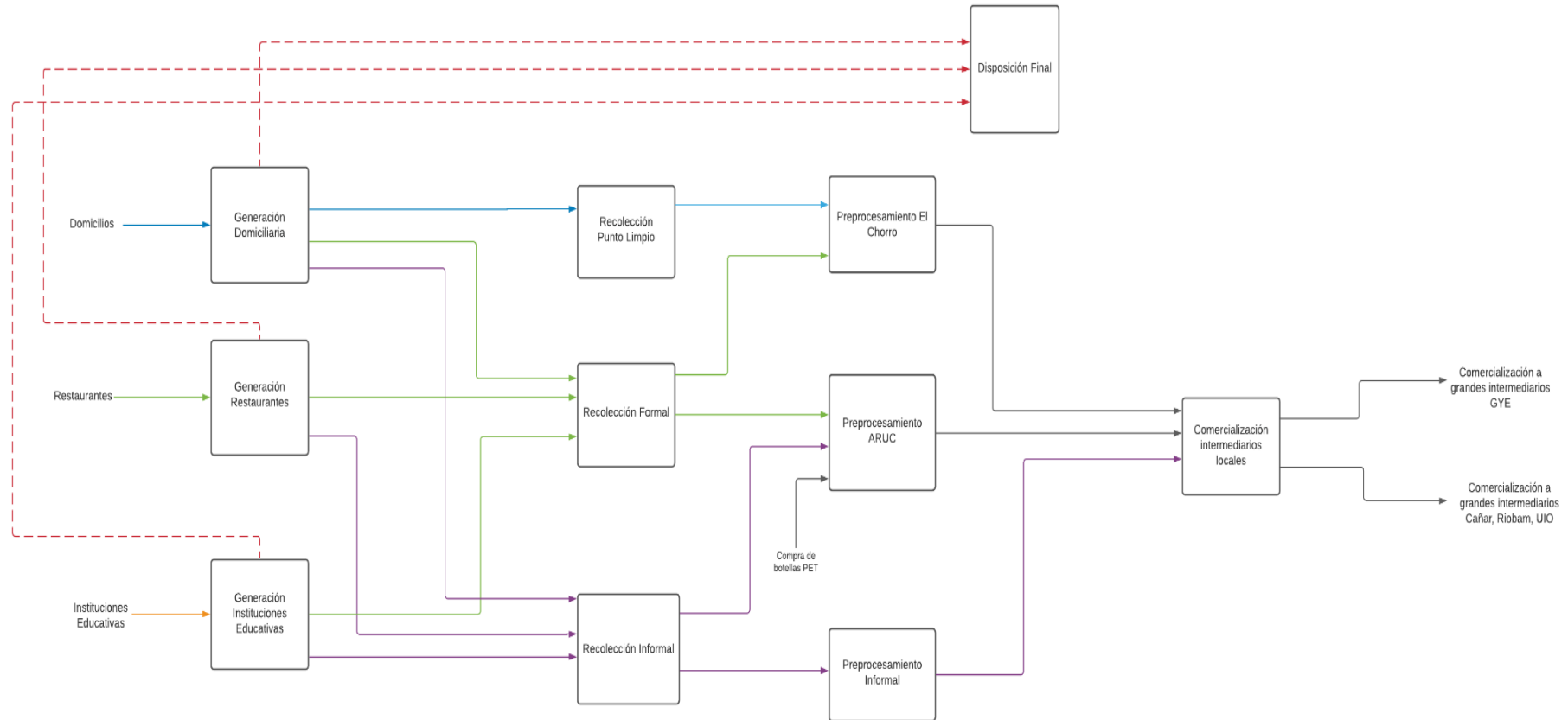
Comercialización a grandes intermediarios: Se refiere a los residuos de botellas PET vendidos a intermediarios de mayor escala que generalmente se ubican en ciudades como Guayaquil y Quito. Estos grandes intermediarios llevan a cabo procesos productivos para aprovechar este material, elaborando productos como flake y pellets reciclados, para posteriormente usarlos en la fabricación de nuevas botellas u otros productos de PET tanto dentro del país, como para exportarlos (Clavijo & Farez, 2018).

Disposición Final: Incluye residuos de botellas PET provenientes de los grupos generadores identificados, que por diversas circunstancias han llegado al relleno sanitario, al medio ambiente o continúan almacenados en los lugares de generación.

La Figura 5 muestra todos los procesos y flujos del sistema que han sido considerados para el cantón Cuenca.

Figura 5

Diagrama del sistema cantonal



Asunciones y Exclusiones específicas del sistema del cantón Cuenca

En la Tabla 32, se describen las asunciones y exclusiones que se han considerado en este sistema, así como su respectiva explicación.

Tabla 32

Asunciones y exclusiones del sistema nacional

ASUNCIONES	EXPLICACIÓN
Se asume que todo el material (100 %) que recolectan los recicladores informales o a pie de vereda es apto para la comercialización. No hay flujo hacia Disposición Final.	La eficiencia de selección de los recicladores es alta, pues únicamente recolectan el material que cumpla las condiciones adecuadas para ser comercializado, es decir solo botellas bebidas.
Se asume que todas las botellas PET recolectadas por los recicladores de base pasan por un Preprocesamiento.	Todos los recicladores de base realizan al menos una de las actividades de Preprocesamiento, sea en el sitio de recolección o en el lugar de almacenamiento. No hay un flujo directo a la comercialización sin haber pasado por un Preprocesamiento previo.
Se asume que no existe un flujo desde el Preprocesamiento de ARUC y El Chorro hacia la Disposición Final.	Según datos de primera mano se aprovecha el 100 % de botellas PET de bebidas que llegan a sus instalaciones.
EXCLUSIONES	EXPLICACIÓN
Se excluyen los procesos, actividades y usos que ocurren fuera del cantón, una vez comercializados los residuos de botellas PET.	Los límites del sistema se extienden únicamente hasta la comercialización desde el cantón Cuenca hacia otros cantones principales.
Se excluyen los residuos de botellas PET que no sean de bebidas, es decir, botellas de salsas, aceites, cosméticos y otros productos.	Este tipo de botellas no son aptas para el reciclaje, ni están contempladas dentro del impuesto Redimible a las botellas plásticas, por lo que una vez desechadas no poseen potencial de aprovechamiento.
Se excluyen los residuos provenientes del sector de la Salud, cuya recolección es diferenciada y el porcentaje de residuos de botellas PET no es representativo.	Los principales residuos generados en el sector de la salud corresponden a residuos infecciosos, los residuos reciclables corresponden a una fracción pequeña por lo que pueden despreciarse o asumir que se encuentra dentro del flujo de recolección domiciliaria.

No se considera el almacenaje anual de botellas que han entrado y permanecido en el sistema desde años anteriores al 2019, o aquellas de ese año que no se han usado y se descartarán en años posteriores.	Este almacenaje se equilibra con lo que entra de un año anterior al contemplado, y lo que queda almacenado del mismo año, por lo que no altera el balance general del sistema.
Se excluyen los residuos provenientes del barrido de las calles por parte del personal de la EMAC.	Pues los residuos producto de dichos barridos contienen una cantidad baja e incluso nula de residuos de botellas PET.
No se considera la recolección de botellas por iniciativa de instituciones públicas o privadas (diferentes a la EMAC).	Este tipo de iniciativas, generalmente a pequeña escala no llevan registros del material recolectado, por lo que quedan excluidos del sistema.
No se considera la comercialización a empresas o emprendimientos locales.	Hasta el año de estudio, no hay registro de negocios locales que estén adquiriendo directamente estos residuos para incluirlos en sus procesos de producción.

4.2.2 Recolección de información.

4.2.2.1 Determinación de flujos, procesos y stocks

4.2.2.1.1 Recopilación de datos primarios para establecer flujos

Para conocer las principales fuentes de información de datos primarios para los flujos del MFA, fue necesario identificar a los actores involucrados relevantes dentro de los límites del sistema de gestión de residuos de botellas PET. Para ello se utilizó como base un listado recopilado previamente por el Grupo de Investigación ECI de la Universidad de Cuenca, este listado se depuró de acuerdo a los intereses de este estudio, agrupando a los actores en 4 categorías presentadas en la Tabla 33.

Tabla 33

Actores identificados

CATEGORÍA	NOMBRE
INSTITUCIONES PÚBLICAS	EMAC - EP
	Ministerio del Ambiente y Agua (MAAE - PNGIDS) Programa Nacional de Gestión Integrada de Desechos Sólidos
	GAD's
	Comisión de Gestión Ambiental (CGA)
	Ministerio de Educación
CIUDADANÍA	Ministerio de Turismo
	Servicio de Rentas Internas (SRI)
RECICLADORES DE BASE	Hogares
	Independientes
	Feria Libre
	Pichacay
	El Chorro
	ARUC
	Nuevos Horizontes
Centro Histórico	
FUNDACIONES/ONG	Cristo Rey
	Fundación Alianza en el Desarrollo (FAD)
	Red Nacional de Recicladores del Ecuador (RENAREC)

Nota. Los actores que se muestran en la tabla, fueron seleccionados a partir de un listado más amplio realizado por el grupo de investigación ECI (2019).

Para el levantamiento de información primaria desde los actores identificados, se utilizaron mecanismos como levantamiento de encuestas, acercamientos virtuales y entrevistas directas.

En primer lugar, se aplicó la encuesta “Análisis de Ciclo de Vida Social en Cuenca (ACVS)” a cargo del Grupo de Investigación ECI de la Universidad de Cuenca, con quienes se participó en sinergia en el año 2021 para llevar a cabo el levantamiento de un total de 189 preguntas a recicladores de base. Esta encuesta englobó aspectos sociales, económicos y laborales para obtener información concerniente a la gestión de residuos PET y otros materiales por parte de estos recicladores en el cantón.

Para el interés de este estudio, se tomaron en cuenta los datos recopilados en la sección de “Recolección y Comercialización” de la encuesta antes mencionada, en donde los encuestados proporcionaron información relevante sobre las cantidades de material PET recolectadas por reciclador a pie de vereda durante el 2019. Estos datos se emplearon para establecer los flujos correspondientes a la recolección de estos residuos. En la Tabla 34 se presentan los datos extraídos de esta encuesta.

Tabla 34

Promedio de recolección de residuos PET a pie de vereda

RECOLECCIÓN INFORMAL DE PET (A PIE DE VEREDA)		
Datos	Cantidad	Unidad
Promedio de recolección anual (por reciclador)	0,848	t/año

Nota. El promedio de recolección a pie de vereda se obtuvo del estudio SLCA realizado por el grupo ECI (2019).

Continuando con la recopilación de información primaria, se realizaron acercamientos directos a través de entrevistas con tres actores involucrados en el proceso de recolección formal dentro del sistema.

Entrevista a un técnico de reciclaje de la EMAC

Para obtener datos con respecto al Punto Limpio, y el porcentaje de aprovechamiento de residuos de botellas PET de la funda celeste, se realizó una entrevista al Ingeniero Juan Pablo Vega, técnico de la EMAC, en las instalaciones del Ecoparque “El Valle” con el consentimiento previo del entrevistado para documentar la entrevista en audio y por escrito. Se realizaron un total de 5 preguntas, teniendo como resultados relevantes los datos presentados en la Tabla 35.

Tabla 35

Datos de la entrevista al Ingeniero Juan Pablo Vega, técnico de la EMAC

ENTREVISTA AL INGENIERO JUAN PABLO VEGA	
Variable	Respuesta
Porcentaje de aprovechamiento del punto limpio	~100 %
Tipo de generador del que proviene	Domiciliario
Destino de los residuos del Punto limpio	Asociación El Chorro
Porcentaje de botellas PET que llegan al relleno sanitario	Se considera un porcentaje despreciable
Porcentaje de aprovechamiento de botellas de la funda celeste	~100 %

La información detallada, de las preguntas y respuestas de esta entrevista, se adjunta en el Anexo 6.

Entrevista a Representante de la Asociación El Chorro

La entrevista se realizó a la señora María Alegría Villa, presidenta de la asociación de recicladores “El Chorro” en el centro de acopio de esta asociación, con el propósito de conocer las cantidades recolectadas por la asociación, destinos de comercialización y fracción aprovechable de estos residuos. Se obtuvo el consentimiento previo de la entrevistada para documentar la entrevista en audio y por escrito, una vez realizadas las preguntas pertinentes se obtuvo como resultados relevantes los datos presentados en la Tabla 36.

Tabla 36

Datos de entrevista a la Sra. Alegría Villa

ENTREVISTA A REPRESENTANTE DE EL CHORRO	
Variable	Respuesta
Número de recicladores que conforman la Asociación	13
Cantidad recolectada a la semana	~230 Kg
Porcentaje de aprovechamiento	~100 %
Destino de botellas PET comercializadas	Guayaquil

La información detallada, de las preguntas y respuestas de esta entrevista, se adjunta en el Anexo 7.

Entrevista a Representante de Asociación ARUC

La entrevista se realizó al señor Alberto Macas y la señora Julia Estrella, presidente y vicepresidenta de la asociación de recicladores “ARUC”, con el propósito de conocer las cantidades recolectadas por la asociación, destinos de comercialización y fracción aprovechable de estos residuos. Se obtuvo el consentimiento previo de los entrevistados para documentar la entrevista en audio y por escrito, y una vez realizadas las preguntas pertinentes se obtuvieron los datos presentados en la Tabla 37.

Tabla 37

Datos de entrevista al Sr. Alberto Macas

ENTREVISTA AL REPRESENTANTE DE ARUC	
Variable	Respuesta
Número de recicladores que conforman la Asociación	13 en planta y 5 a pie de vereda
Cantidad recolectada al mes por los recicladores de planta	~700 kg
Cantidad recolectada al mes por los recicladores a pie de vereda	5 kg
Cantidad ingresada al mes por compra directa	75 kg
Porcentaje de aprovechamiento	~100%
Destino de botellas PET comercializadas	Guayaquil

La información detallada, de las preguntas y respuestas de esta entrevista, se adjunta en el Anexo 8.

4.2.2.1.2 Recopilación de datos secundarios para establecer los flujos

La recopilación de datos secundarios jugó un papel importante en el estudio, pues dadas las restricciones del COVID-19, el acercamiento directo se vio limitado, por lo que únicamente se pudo contactar con los 19 actores descritos en la Tabla 33. Para los

datos faltantes se solicitó formalmente bases de datos oficiales de instituciones públicas, y se realizó una revisión bibliográfica de páginas web oficiales, documentos académicos indexados, libros y tesis.

Para datos de entrada del sistema, es decir datos referentes al consumo de botellas PET, se tomó como asunción que, lo que se genera es igual a lo que se consume, razón por la cual se recopilaron datos referentes a la generación de residuos de botellas PET en los tres generadores principales identificados.

Para los Restaurantes, en primer lugar, se estableció contacto con el Ministerio de Turismo (MINTUR) para obtener el catastro con el dato exacto de establecimientos que para el año 2019 funcionaron bajo esta denominación, registrándose un total de 1 327 establecimientos. Dentro de este catastro, se especifica una cantidad de clientes promedio al mes para cada uno de los establecimientos, mismo que se utilizó más adelante para categorizar el tamaño de cada uno de ellos.

Posteriormente se investigó la generación de residuos de botellas PET en estos establecimientos, pero al no existir estudios de generación de residuos en restaurantes en el cantón, se utilizó datos del estudio de Barriga y Calderón (2020) que establece un valor aproximado de generación de residuos de botellas PET de acuerdo al tamaño del establecimiento para la ciudad de Quito. Al encontrar rangos de afluencia similares a los existentes en los restaurantes de la ciudad de Cuenca, fue factible adaptar los datos, para este estudio.

Barriga y Calderón establecen que los restaurantes medianos (RM) se definen como aquellos que cuentan con un rango entre 0 – 200 clientes a la semana, mientras que los restaurantes grandes (RG) cuentan con más de 200 clientes a la semana. Con base en los rangos establecidos en este estudio, se clasificaron los restaurantes del cantón Cuenca de acuerdo al promedio de clientes registrado en el catastro del MINTUR, y se calculó la generación total de residuos de botellas PET, el cuál es presentado en la Tabla 38.

Tabla 38

Generación de residuos de botellas PET en Restaurantes

GENERACIÓN PET EN RESTAURANTES			
Datos	Cantidad	Unidad	Fuente
Total establecimientos registrados	1 327	Establecimientos	
Total de Restaurantes grandes (RG)	930	Establecimientos	Ministerio de Turismo, 2020
Total de Restaurantes medianos (RM)	397	Establecimientos	
Promedio de generación de residuos PET/semanal RG	3,4	kg/semana	Barriga y Calderón, 2020
Promedio de generación de residuos PET/semanal RM	2,5	kg/semana	
Total generado por RG	164,424	t/año	
Total generado por RM	51,61	t/año	
TOTAL generado	216,03	t/año	

Nota. El valor de generación de residuos de botellas PET es un aproximado a la realidad del cantón Cuenca, pues está calculado a partir de datos secundarios.

Para la generación desde Instituciones Educativas, correspondiente a nivel básico y bachillerato, se realizó una consulta virtual al Ministerio de Educación, Zona 6, con el propósito de obtener el número total de instituciones en el cantón y el número de jornadas que realiza cada una.

Al no encontrarse datos locales de generación desde este tipo de establecimientos, se optó por usar los datos presentados por Velín (2015), en su estudio realizado para las instituciones educativas de Macas. Este estudio, calculó los residuos de botellas PET generados mensualmente en instituciones educativas con un promedio de 900 estudiantes. En Cuenca, de acuerdo a la base de datos obtenida, se pudo establecer que, en general una escuela o colegio, tiene un promedio aproximado de 1 000 estudiantes.

Con las similitudes en cuanto a población académica promedio por institución entre las dos ciudades, se pudo utilizar la generación del estudio para calcular la generación total

de residuos de botellas PET en Cuenca. Los datos mencionados y el valor total de generación se presentan a continuación en la Tabla 39.

Tabla 39

Generación de residuos de botellas PET en Instituciones Educativas (escuelas y colegios)

GENERACIÓN PET EN INSTITUCIONES EDUCATIVAS: BÁSICA Y BACHILLERATO			
Datos	Cantidad	Unidad	Fuente
Total de instituciones del cantón	447	Establecimientos	Ministerio de Educación, 2020
Total de jornadas (matutina, vespertina y nocturna)	604	jornadas	
Promedio semanal de generación de PET	5,41	kg/semana	Velín, 2015
Semanas escolares Ecuador 2019	40	semanas/año	Ministerio Educación, 2019
Promedio anual por institución	0,2164	t/año	
TOTAL	130,71	t/año	

Nota. El valor de generación de residuos de botellas PET es un aproximado a la realidad del cantón Cuenca, pues está calculado a partir de datos secundarios.

De la misma manera, para en caso de Instituciones de Educación Superior, se pudo obtener mediante revisión de páginas web oficiales y reportes de labores de cada Institución, el número total de estudiantes matriculados en el año 2019. Posterior a esto, se obtuvo de un estudio realizado por Coyago (2016), la generación promedio de plásticos en una Institución similar en la Ciudad de Quito. Para obtener únicamente la fracción correspondiente a botellas PET, se extrajo el dato de Benitez y Gárate (2020) para Cuenca. En la Tabla 40 se presentan todos los datos y el valor total de generación de residuos de botellas PET para las 4 instituciones de educación superior principales del cantón.

Tabla 40

Generación de residuos de botellas PET en Universidades

GENERACIÓN PET EN UNIVERSIDADES			
Datos	Cantidad	Unidad	Fuente
Total de estudiantes universitarios	43 364	estudiantes	UDA, UPS, UCuenca, UCACUE, 2019
Generación per cápita por estudiante	0,0447	kg/estudiante/día	Fiallo, 2020
Días de clases 2019	161	días	Universidad de Cuenca, 2019
Fracción de plástico generado en universidades	21,22	%	Coyago et al., 2016
Fracción de PET	27,75	%	Benitez Garate, 2020
TOTAL	18,38	t/año	

Con los datos de instituciones de educación básica, bachillerato y universidades, se pudo obtener la generación total de residuos de botellas PET para Instituciones Educativas del cantón Cuenca, misma que se presenta en la siguiente Tabla 41.

Tabla 41

Generación de residuos de botellas PET en Instituciones Educativas

GENERACIÓN PET EN INSTITUCIONES EDUCATIVAS		
Datos	Cantidad	Unidad
Instituciones educativas: Básica y Bachillerato	130,71	t/año
Universidades	18,38	t/año
TOTAL	149,08	t/año

En el caso de los Domicilios, al no existir un dato exacto para este tipo de generadores, se realizaron cálculos generales partiendo de una población seccionada correspondiente únicamente al grupo de edades a partir de los 5 años, que se considera como la edad a la que comienza la escolaridad (Ministerio de Educación, 2018) y es esta edad la que considera el INEC como población objetiva para estudios de levantamiento de datos concernientes a la generación de residuos (INEC, 2019). Con esta población y la generación per cápita de residuos extraída de los reportes de la EMAC (EMAC, 2019), se pudo obtener un valor de generación global para todos los

tipos de residuos, luego, con la fracción correspondiente a botellas PET, se pudo obtener la generación total de estos residuos atribuible al cantón Cuenca.

Tabla 42

Generación de residuos de botellas PET en el cantón Cuenca

GENERACIÓN PET GLOBAL			
Datos	Cantidad	Unidad	Fuente
Población Cuenca 2019	565 763	habitantes	INEC, 2012
Generación per cápita Cuenca	0,519	kg/Hab/día	EMAC, 2019
Fracción reciclable	25,84	%	EMAC, 2019
Fracción de PET botellas	4,345	%	EMAC, 2019
Generación de PET Cuenca	3 296,74	kg/día	
	1 203,31	t/año	

Nota. El dato de población para el año 2019 se toma de la última proyección realizada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en el año 2012.

Como se observa en la Tabla 42 de manera global, la población del cantón Cuenca generó 1 203,31 toneladas de residuos de botellas PET en 2019; sin embargo, para conocer el valor correspondiente únicamente a la categoría Domicilios, se restaron los valores de generación de Restaurantes e Instituciones Educativas, obteniendo en total 838,19 toneladas de residuos de botellas PET consumidas y generadas por Domicilios, tal como se puede observar en la Tabla 43 presentada a continuación.

Tabla 43

Generación de residuos de botellas PET en Domicilios

GENERACIÓN PET DOMICILIOS		
Datos	Cantidad	Unidad
Generación PET Cuenca	1 203,31	toneladas
PET generado en Restaurantes	216,03	t/año
PET generado en Instituciones Educativas	149,082	t/año
Generación de PET en Domicilios	838,19	t/año

Nota. El valor obtenido para generación desde Domicilios es una aproximación de acuerdo a los mejores datos disponibles y representan de manera adecuada el escenario del cantón Cuenca. El error asociado a este tipo de aproximaciones se toma en consideración en el cálculo de incertidumbres.

Para los datos de recolección en el Punto Limpio, se analizó una base de datos proporcionada por la EMAC, en la cual se pudo obtener las cantidades mensuales de

PET que llegan a este lugar y que posteriormente son entregadas a la asociación El Chorro. En total, como se observa en la Tabla 44, en el 2019 se recolectó 1,07 toneladas de este material.

Tabla 44

Recolección de botellas PET en el Punto Limpio

RECOLECCIÓN PUNTO LIMPIO		
Mes	Cantidad	Unidad
Enero	0,08	t/mes
Febrero	0	t/mes
Marzo	0,01	t/mes
Abril	0,02	t/mes
Mayo	0,43	t/mes
Junio	0,15	t/mes
Julio	0,08	t/mes
Agosto	0	t/mes
Septiembre	0	t/mes
Octubre	0,09	t/mes
Noviembre	0,04	t/mes
Diciembre	0,17	t/mes
TOTAL	1,07	t/año

Con respecto a la recolección formal de las fundas celestes realizada por la EMAC y entregada a las Asociaciones de ARUC y El Chorro, en la base de datos se evidencia la cantidad en peso de todos los materiales entregados mes a mes a las asociaciones, tal como se muestra en la Tabla 45.

Tabla 45

Cantidad de residuos reciclables entregados a las asociaciones, por la EMAC

CANTIDADES ENTREGADAS POR LA EMAC				
Mes	ARUC	Unidad	EL CHORRO	Unidad
Enero	12,65	t/mes	27,26	t/mes
Febrero	6,95	t/mes	19,28	t/mes
Marzo	5,75	t/mes	18,84	t/mes
Abril	5,52	t/mes	24,4	t/mes
Mayo	5,59	t/mes	27,78	t/mes
Junio	20,01	t/mes	23,39	t/mes
Julio	13,64	t/mes	27,52	t/mes
Agosto	7,77	t/mes	15,92	t/mes
Septiembre	18,54	t/mes	35,03	t/mes
Octubre	34,88	t/mes	20,07	t/mes
Noviembre	25,52	t/mes	20,55	t/mes
Diciembre	36,66	t/mes	27,17	t/mes
TOTAL	193,48	t/año	287,21	t/año

A partir de estos valores, se calculó el 4,34 % correspondiente a la fracción únicamente de botellas PET obtenido a partir de una caracterización de la funda celeste realizada en el año 2020 (EMAC, 2020). Dando como resultado la cantidad de residuos de botellas PET entregada a cada asociación ARUC y el Chorro, tal como se indica en la Tabla 46.

Tabla 46

Residuos de botellas PET entregado a ARUC y El Chorro

RECOLECCIÓN FORMAL		
Datos	Cantidad	Unidad
Total ARUC	193,48	t/año
Total El Chorro	287,21	t/año
Porcentaje botellas PET	4,345	%
Total botellas PET ARUC	8,41	t/año
Total botellas PET El Chorro	12,48	t/año

Nota. Datos de recolección proporcionados por la EMAC (2019)

En el proceso de comercialización a intermediarios fuera del cantón, se obtuvo datos a partir de un estudio realizado por Clavijo y Fárez (2018), en donde se realizaron entrevistas a los intermediarios del cantón Cuenca y se detectó que el 99 % del material es enviado a intermediarios de Guayaquil, mientras que el 1 % restante es enviado a

Quito, Riobamba y la provincia de Cañar. Los residuos de botellas PET que llegan a estas ciudades, son convertidos en flake o pellets, dependiendo de la industria recicladora que los procesa.

Otro dato secundario adicional que se pudo obtener a través del Servicio de Rentas Internas (SRI), es el número total de unidades de botellas plásticas puestas en el mercado en Cuenca durante el año 2019. Este dato es importante pues sirvió para comparar los datos recopilados tanto con fuentes primarias y secundarias con este valor reportado en el marco del Impuesto Redimible a las botellas plásticas No Retornables presentado a continuación en la Tabla 47.

Tabla 47

Botellas PET ingresadas en el mercado, año 2019

INFORMACIÓN SRI		
Datos	Cantidad	Unidad
Botellas PET puestas en el Mercado 2019	50 464 470	botellas
	1 328,01	toneladas

Nota. El monto de botellas puestas en el mercado se obtuvo mediante información del SRI (2019).

4.2.2.1.3 Integración de información primaria y secundaria

Con la información primaria y datos extraídos de fuentes secundarias, se completaron todos los flujos del sistema local. En esta sección se presenta la integración de todos los datos obtenidos para completar los flujos de entrada, flujos intermedios y flujos de salida en cada uno de los procesos identificados en el sistema.

Proceso de Generación

Para los flujos de entrada de cada grupo generador, es decir Domicilios, Restaurantes e Instituciones Educativas, se utilizaron datos de generación de residuos de botellas PET asumiendo que la generación es igual al consumo, de esta manera a partir de estas cantidades anuales, se obtuvo un porcentaje para los tres tipos de generadores. Estas cantidades de entrada o consumo, así como sus respectivos porcentajes se muestran en la Tabla 48.

Tabla 48

Porcentajes de generación de residuos de botellas PET por tipo de generador

TONELADAS BOTELLAS CUENCA / CATEGORÍA			
Generador	Cantidad	Unidad	Porcentaje
DOMICILIARIOS	838,19	t/año	69,66 %
RESTAURANTES	216,03	t/año	17,95 %
INSTITUCIONES EDUCATIVAS	149,08	t/año	12,39 %
TOTAL GENERACIÓN	1 203,31	t/año	100 %

Estos porcentajes se utilizaron para calcular el valor de los flujos desde los diferentes grupos generadores con base en los montos totales de recolección para las modalidades de Recolección Formal y Recolección Informal. Esta información se detalla en la siguiente sección correspondiente al proceso de Recolección.

Recolección Punto Limpio

Este proceso cuenta con una sola entrada, debido a que son los generadores domiciliarios los únicos que depositan sus residuos aprovechables en el Punto Limpio. Esta entrada corresponde a la cantidad de 1,07 toneladas, es la misma cantidad que sale hacia el Preprocesamiento de la asociación El Chorro.

Recolección Formal

La recolección formal gestionada por la EMAC obtuvo 20,89 toneladas como total de residuos entregados a las asociaciones ARUC y El Chorro.

Con este total de residuos identificado, se calcularon los tres flujos que ingresan a este proceso desde los generadores identificados, es decir, Domicilios, Restaurantes e Instituciones Educativas de acuerdo a los porcentajes de generación previamente establecidos (véase Tabla 48), dando como resultado los siguientes valores de entrada, presentados en la Tabla 49 a continuación.

Tabla 49

Entradas de residuos de botellas PET al proceso de Recolección Formal

ENTRADAS RECOLECCIÓN FORMAL (ARUC Y EL CHORRO)		
Proceso de origen	Cantidad	Unidad
Generación Domicilios	14,55	t/año
Generación Restaurantes	3,75	t/año
Generación Instituciones Educativas	2,59	t/año
Total	20,89	t/año

Como salidas de este proceso de Recolección Formal encontramos las cantidades que registra la EMAC que se entrega a ARUC y El Chorro, quienes reciben las fundas celestes recolectadas. Los valores de los flujos que se dirigen a cada asociación son los que se muestran en la Tabla 50 a continuación:

Tabla 50

Salidas de residuos de botellas PET del proceso de Recolección Formal

SALIDAS RECOLECCIÓN FORMAL EMAC (ARUC Y EL CHORRO)		
Datos	Cantidad	Unidad
Cantidad de botellas PET entregadas al centro de acopio de EL CHORRO	12,48	t/año
Cantidad de botellas PET entregadas al centro de acopio de ARUC	8,41	t/año

Nota. Datos tomados de la EMAC (2019).

Recolección Informal

A este proceso ingresan tres flujos provenientes de la recolección de los recicladores a pie de vereda desde los grupos generadores. El total de recolección mediante esta modalidad fue de 483,29 toneladas como indica la Tabla 51, se incluye a algunos de los recicladores de ARUC que trabajan bajo la modalidad a pie de vereda.

Tabla 51

Recolección Informal de residuos de botellas PET a pie de vereda

RECOLECCIÓN INFORMAL (A PIE DE VEREDA)		
Datos	Cantidad	Unidad
Promedio de recolección anual (por reciclador)	0,848	t/año
Total de recicladores a pie de vereda	569	personas
Total	482,51	t/año
Promedio de recolección a pie de vereda ARUC	0,06	t/año
Total de recicladores a pie de vereda ARUC	13	personas
Total	0,78	t/año
Total Informal	483,29	t/año

A partir de esta cantidad, con los porcentajes expuestos en la Tabla 48 mostrada anteriormente, se especificaron las cantidades que llegan desde Domicilios, Restaurantes e Instituciones Educativas, los cuales se presentan en la Tabla 52.

Tabla 52

Entradas de residuos de botellas PET al proceso de Recolección Informal

ENTRADAS RECOLECCIÓN INFORMAL (A PIE DE VEREDA)		
Proceso de origen	Cantidad	Unidad
Generación Domicilios	336,65	t/año
Generación Restaurantes	86,77	t/año
Generación Instituciones Educativas	59,88	t/año

Los flujos de salida de este proceso son dos, el primero que corresponde a la cantidad recolectada por los recicladores de base que pertenecen a la asociación ARUC y que por lo tanto llevan a cabo el Preprocesamiento en las mismas instalaciones de dicha asociación, y un segundo flujo que corresponde al resto de recicladores informales que realizan un Preprocesamiento ya sea en los mismos lugares de recolección, en sus domicilios, o en cualquier otro sitio dispuesto para esta actividad. Estos valores de salida se pueden observar en la Tabla 53.

Tabla 53

Salidas de residuos de botellas PET del proceso de Recolección Informal

SALIDAS RECOLECCIÓN INFORMAL (A PIE DE VEREDA)		
Proceso de destino	Cantidad	Unidad
Preprocesamiento ARUC	0,78	t/año
Preprocesamiento Informal	482,51	t/año

Preprocesamiento El Chorro

A este proceso ingresan las botellas PET vacías desde lo recolectado en el Punto Limpio que se entrega directa y únicamente a esta asociación, y la cantidad de botellas correspondiente a lo entregado desde la Recolección Formal por la EMAC en la funda celeste (Tabla 54).

Tabla 54

Entradas de residuos de botellas PET al Preprocesamiento en El Chorro

ENTRADAS PREPROCESAMIENTO EL CHORRO		
Proceso de origen	Cantidad	Unidad
Recolección Punto Limpio	1,07	t/año
Recolección Funda Celeste	12,48	t/año
Total	13,55	t/año

Existe una sola salida desde este proceso, que se dirige hacia la comercialización con intermediarios locales que comprende el total de lo recolectado.

Preprocesamiento ARUC

A este proceso ingresan los residuos de botellas PET de bebidas provenientes de la Recolección Formal en la funda celeste, así como un flujo correspondiente a los 13 recicladores en modalidad pie de vereda que pertenecen a esta asociación, por último, existe un flujo de entrada relacionado a la compra directa de material desde Domicilios que se acercan a este centro de acopio a vender residuos de botellas PET. Estas entradas pueden visualizarse en la Tabla 55.

Tabla 55

Entradas de residuos de botellas PET al Preprocesamiento en ARUC

ENTRADAS PREPROCESAMIENTO ARUC		
Proceso de origen	Cantidad	Unidad
Recolección Funda Celeste	8,41	t/año
Recolección informal (pie de vereda)	0,78	t/año
Compra directa	0,90	t/año
Total	10,09	t/año

En cuanto a las salidas, todo el material, es decir 10,09 toneladas son comercializadas de manera local a intermediarios, no existe ninguna otra salida o desviación.

Preprocesamiento Informal

En este proceso ingresa un único flujo que corresponde al material recolectado y preprocesado por los 569 recicladores a pie de vereda, este valor que se puede observar en la Tabla 56 también corresponde al flujo de salida, pues no existen pérdidas y todo se dirige hacia el proceso de Comercialización con intermediarios locales.

Tabla 56

Entradas de residuos de botellas PET al Preprocesamiento Informal

ENTRADAS PREPROCESAMIENTO INFORMAL		
Proceso de origen	Cantidad	Unidad
Recolección Informal	482,51	t/año
Total	482,51	t/año

Comercialización Intermediarios Locales

Las entradas a este proceso, son todos los flujos de residuos de botellas que han pasado por el Preprocesamiento desde ARUC y El Chorro, así como el Preprocesamiento Informal. El total que ingresó corresponde a 506,15 toneladas, las cuales se comercializaron a grandes intermediarios en Guayaquil, Quito, Riobamba y Cañar. Estas salidas se presentan en la Tabla 57.

Tabla 57

Salidas de residuos de botellas PET desde el proceso de Comercialización a Intermediarios locales

SALIDAS COMERCIALIZACIÓN INTERMEDIARIOS LOCALES		
Lugar de destino	Cantidad	Unidad
Guayaquil	501,09	t/año
Quito, Riobamba y Cañar	5,06	t/año
Total	506,15	t/año

Disposición Final

Al proceso de Disposición Final ingresan todos los residuos de botellas PET que no fueron recolectados por ninguna de las modalidades descritas, por lo tanto, son las botellas que se encuentran almacenadas en lugares desconocidos, que se han acumulado en algún compartimiento ambiental, o han llegado al relleno sanitario. Este monto se calculó de la diferencia entre lo generado y lo recolectado, teniendo como resultado en la Tabla 58, que desde los tres tipos de generadores un total de 697,16 toneladas de residuos de botellas PET, no se recolectaron y se encuentran en alguno de los lugares mencionados anteriormente.

Tabla 58

Entradas de residuos de botellas PET al proceso de Disposición Final

ENTRADAS DISPOSICIÓN FINAL		
Proceso de origen	Cantidad	Unidad
Generación Domicilios	485,03	t/año
Generación Restaurantes	125,52	t/año
Generación Instituciones Educativas	86,62	t/año
Total	697,16	t/año

4.2.2.2 Identificación de coeficientes de transferencia

Los coeficientes de transferencia de este sistema, se calcularon de la misma manera que el sistema nacional, es decir a partir de los flujos másicos identificados para cada proceso del sistema. Se estructuró una matriz con los flujos de entradas y salidas de

cada proceso y se calcularon los coeficientes respectivos. A continuación, se presenta la Tabla 59 de coeficientes usados en el sistema del cantón Cuenca.

Tabla 59.

Coeficientes de transferencia del sistema cantonal.

PROCESO DE PARTIDA	FLUJO	PROCESO DE LLEGADA	COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA
Generación Domiciliaria	Residuos de botellas PET	Punto Limpio	0,001
		Recolección Formal	0,017
		Recolección Informal	0,401
		Preprocesamiento ARUC	0,0001
		Disposición Final	0,578
Generación Restaurantes	Residuos de botellas PET	Recolección Formal	0,017
		Recolección Informal	0,401
		Disposición Final	0,581
Generación Instituciones Educativas	Residuos de botellas PET	Recolección Formal	0,017
		Recolección Informal	0,401
		Disposición Final	0,581
Recolección Punto Limpio	Residuos de botellas PET	Preprocesamiento Formal	1
Recolección Formal	Residuos de botellas PET	Preprocesamiento El Chorro	0,597
		Preprocesamiento ARUC	0,402
Recolección Informal	Residuos de botellas PET	Preprocesamiento informal	0,998
		Preprocesamiento ARUC	0,001
Preprocesamiento el Chorro	Residuos de botellas PET	Comercialización Intermediarios locales	1
Preprocesamiento ARUC	Residuos de botellas PET	Comercialización Intermediarios locales	1
Preprocesamiento Informal	Residuos de botellas PET	Comercialización a Intermediarios Locales	1
Comercialización a Intermediario locales	Residuos de botellas PET	Comercialización a grandes intermediarios GYE	0,99
		Comercialización a grandes intermediarios Cañar, Riobamba, UIO.	0,01

4.2.2.3 Determinación de incertidumbres

En este sistema también se determinaron incertidumbres tanto cualitativas como cuantitativas, siguiendo la misma metodología descrita en la sección 4.1.2.3 del sistema nacional. Para la incertidumbre cualitativa a todos los datos utilizados en este sistema, se les asignó una puntuación entre 1 y 5, de muy bueno a muy malo para cada variable.

En la Tabla 60 se presenta la Matriz de Pedigree con los datos evaluados de los flujos empleados en este sistema de estudio.

Tabla 60

Matriz de Pedigree para el sistema cantonal

MATRIZ DE PEDIGREE									
Proceso	Proceso o flujo precedente	Valor	Fiabilidad	Integridad	Correlación temporal	Correlación geográfica	Correlación tecnológica	Promedio	Calificación (1=Muy bueno y 5=Muy malo)
Generación Domiciliaria	Uso/ Consumo Domiciliario	1 203,31	3	3	1	1	2	2	BUENO
Generación Restaurantes	Uso/ Consumo Restaurantes	216,03	3	3	1	4	4	3	REGULAR
Generación Instituciones Educativas	Uso/ Consumo Instituciones Educativas	130,71	3	3	3	4	3	3,2	MALO
Recolección Punto Limpio	Generación Domiciliaria	1,07	2	1	1	1	2	1,4	BUENO
Recolección Formal	Generación Domiciliaria	14,55	3	2	1	1	3	2	BUENO
	Generación Restaurantes	3,75	3	3	1	2	4	2,6	REGULAR
	Generación Instituciones Educativas	2,59	3	3	1	2	3	2,4	REGULAR
Recolección Informal	Generación Domiciliaria	336,65	3	2	1	1	3	2	BUENO
	Generación Restaurantes	86,77	3	3	1	1	3	2,2	REGULAR
	Generación Instituciones Educativas	59,88	3	3	1	1	3	2,2	REGULAR
Preprocesamiento El Chorro	Punto Limpio	1,07	2	1	1	1	2	1,4	BUENO
	Recolección Formal	12,48	3	2	1	1	2	1,8	BUENO
	Recolección Formal	8,41	3	2	1	1	2	1,8	BUENO

Preprocesamiento ARUC	Recolección Informal	0,78	4	2	1	1	3	2,2	REGULAR
	Compra directa	0,9	3	3	1	1	3	2,2	REGULAR
Preprocesamiento Informal	Recolección Informal	482,51	2	1	1	1	2	1,4	BUENO
Comercialización a intermediarios locales	Preprocesamiento El Chorro	13,55	3	2	1	1	2	1,8	BUENO
	Preprocesamiento ARUC	10,09	3	2	1	1	2	1,8	BUENO
	Preprocesamiento Informal	482,51	3	3	1	1	2	2	BUENO
Comercialización a intermediarios GYE	Comercialización a Intermediario locales	501,09	3	3	1	2	3	2,4	REGULAR
Comercialización a intermediarios Cañar, Riobamba, UIO	Comercialización a Intermediario locales	5,06	3	3	1	2	3	2,4	REGULAR
Disposición Final	Generación Domiciliaria	485,03	5	3	1	1	4	2,8	REGULAR
	Generación Restaurantes	125,52	5	3	1	3	4	3,2	MALO
	Generación Instituciones Educativas	86,62	5	3	3	3	4	3,6	MALO

Para las incertidumbres cuantitativas, al igual que en el sistema de Ecuador, se calcularon valores de años anteriores al período de estudio, pues la disponibilidad de datos mensuales fue escasa. Los datos de los años 2017 y 2018, fueron determinados mediante regresiones lineales modificando datos como la población del cantón y población estudiantil, y mediante revisión de fuentes secundarias de estos años. Una vez obtenidos estos datos, se realizaron los cálculos correspondientes con las mismas fórmulas empleadas en el sistema Nacional y se generaron los valores de incertidumbre para todos los flujos.

En la matriz mostrada en el Anexo 9 se presentan las incertidumbres calculadas para todos los flujos involucrados en el sistema del cantón Cuenca.

4.2.3 Procesamiento de datos

4.2.3.1 Balance de Masa

Teniendo en cuenta el principio de conservación y la ecuación 10 presentada con anterioridad en la sección 4.1.3.1 del sistema nacional, se calculó el balance, contabilizando todos los flujos de entrada y salida del sistema para las botellas PET en su fase de fin de vida, teniendo:

$$\sum_{ki} m(\text{entrada}) = \sum_{ko} m(\text{salida}) + m(\text{stock}) \quad (10)$$

$$\sum 1203,31 = \sum 506,15 + 697,16$$

En este caso, el valor de stock m , corresponde en este caso, únicamente a los residuos que llegan al proceso de Disposición Final. Con esta consideración el balance de masa se cumple para el sistema de la siguiente manera:

$$\sum 1203,31 = \sum 1203,31$$

4.2.3.2 Cálculo de resultados MFA: Software STAN

Una vez cumplido el balance de masa, se utilizó el software STAN 2.6 que permitió construir el modelo gráfico del sistema y presentarlo como un diagrama de Sankey. Para esto, en primer lugar, se introdujeron los procesos, flujos y límites del sistema

previamente validados. Luego, se ingresaron los valores de entrada y se asignaron los coeficientes de transferencia para cada proceso de acuerdo a la información recopilada en pasos anteriores. Se corrigieron los errores, se ajustaron los flujos hasta alcanzar la coherencia del sistema y finalmente, se ingresaron los valores de incertidumbre para todos los flujos, obteniéndose el MFA en la fase de fin de vida de botellas PET en el cantón Cuenca.

Validación del MFA para el cantón Cuenca

Al trabajar con datos secundarios y aproximaciones, fue necesario realizar un proceso de validación del sistema con expertos en el tema. Para esto, se utilizó el *juicio de expertos*, el cuál es un método de validación útil para verificar la fiabilidad de una investigación que se define como “una opinión informada de personas con trayectoria en el tema, que son reconocidas por otros como expertos cualificados en éste, y que pueden dar información, evidencia, juicios y valoraciones” (Robles & Rojas, 2015).

Si bien el término experto es ambiguo, se utiliza en este contexto para designar a un individuo cuya formación y experiencia previa le permiten alcanzar cierto nivel de dominio sobre determinado tema.

Tomando esto en consideración, se seleccionaron 3 expertos a los cuales se les presentó el MFA para residuos de botellas PET en el cantón Cuenca. Los expertos seleccionados fueron:

Experto 1: Ing. Juan Pablo Vega, Técnico de Reciclaje de la EMAC.

Experta 2: Ing. María Eulalia Vanegas, Investigadora experta en polímeros. Centro de Estudios Ambientales, Universidad de Cuenca.

Experto 3: Ing. José Luis Solano, Docente investigador en residuos sólidos, Universidad Católica de Cuenca.

En primer lugar, se contactó con ellos de manera individual, se explicó el contexto del trabajo de investigación, y con su respectiva aprobación, se envió un documento resumen, en el cual se explicó la metodología y datos empleados para obtener el Análisis de Flujo de Materiales para la gestión de residuos de botellas PET del cantón.

Una vez revisado el resumen por parte de los expertos, se programaron sesiones virtuales para presentar detalladamente el proceso empleado y los resultados obtenidos.

▪ **Validación del MFA con el experto 1**

Con el Ing. Juan Pablo Vega, la sesión virtual tuvo una duración de 1 hora, en la cual el principal punto de discusión fue en torno al número de recicladores de base empleados en los cálculos del estudio; según el experto, si bien la cifra de 600 recicladores de base es un dato oficial reportado por parte de la EMAC para el 2019, se estima que en realidad las personas que se dedicaban a esta labor en ese año eran entre 1 000 y 1 200 aproximadamente. A más de esto, no se presentaron mayores comentarios, pues en opinión del experto, el sistema representa de manera adecuada la gestión que se realiza en el cantón para este tipo de residuos.

Tomando en cuenta la sugerencia planteada en torno al número de recicladores, se acordó verificar el dato y comparar con las sugerencias de otros expertos.

▪ **Validación del MFA con la experta 2**

Con la Ing. María Eulalia Vanegas, se mantuvo una sesión presencial que duró 1 hora y 30 minutos. Se analizaron todas las entradas y salidas de los procesos y se resolvieron dudas en cuanto a cantidades recolectadas por parte de los recicladores a pie de vereda y en centros de acopio. También se discutieron los valores que llegan al proceso de Disposición Final, pues la experta consideró que la cantidad de residuos PET que llega a este proceso es alto en relación al total generado dentro del sistema. A raíz de esta observación, se discutió la influencia que tiene el número de recicladores sobre la cifra de recolección y disposición.

Luego de esto, se emitieron sugerencias relacionadas a formato y manejo de unidades. Se acordó resolver todas estas sugerencias y se dio por finalizada la sesión.

▪ **Validación del MFA con el experto 3**

Con el Ing. José Luis Solano la duración de la sesión virtual fue de 1 hora con 40 minutos. Se analizaron todos los flujos establecidos para el sistema, y se establecieron puntos importantes en los que se debía hacer énfasis al momento de las discusiones. Luego, se analizó el número de recicladores tomados en cuenta en el sistema; en opinión de este experto, para el año del estudio, laboraban aproximadamente 1 000 recicladores de base en el cantón Cuenca. Comentó en base a su experiencia, que, si bien esta cifra no se encuentra registrada dentro de ninguna base de datos oficial, se

debería tomar en cuenta para realizar comparaciones entre la variabilidad de los flujos del sistema.

Al final de las validaciones, los datos de generación, recolección, preprocesamiento y comercialización fueron aceptados por los expertos, pues representan adecuadamente la realidad en el cantón para el año de estudio; sin embargo, se planteó un punto común de discusión relacionado con el número de recicladores. En el escenario base, se tomó el valor de 600 recicladores, debido a que este es un dato oficial reportado por la EMAC; sin embargo, de acuerdo a la experiencia profesional y conocimiento de los expertos, se estima que, en el año 2019, existían alrededor de 1 000 recicladores de base en el cantón. Esta diferencia en las cifras se da por la falta de los registros y actualización de bases de datos de los recicladores.

Para no dejar de lado la apreciación del universo total de recicladores, se planteó un escenario alternativo utilizando la cifra de 1 000 recicladores de base. Se realizaron todos los cálculos y se obtuvo el MFA para este escenario, el cual también es presentado en la sección 5, de Resultados.

En cuanto, a los comentarios relacionados con el monto de recolección de cada reciclador de base y la diferencia entre aquellos que trabajan a pie de vereda o en centro de acopio, se explicó a detalle la fuente de los datos y cálculos realizados de manera que se resolvieron las dudas de los expertos.

4.3 Retos e Inconvenientes en la realización del MFA nacional y cantonal

Como tercer objetivo específico se planteó identificar los principales inconvenientes presentados a lo largo de la realización de un MFA; en este caso se lo realizó a nivel nacional y a nivel del cantón Cuenca.

Para cumplir este objetivo, en primer lugar, se realizó una revisión de bibliografía relacionada con los principales problemas identificados por diferentes autores al momento de realizar un MFA. La mayoría de estudios, identifican principalmente problemas en torno a la disponibilidad y calidad de datos. Luego de un análisis y comparación entre autores, se identificaron tres inconvenientes principales, mismos que son mostrados en la Tabla 61.

Tabla 61

Inconvenientes generales identificados en un MFA

INCONVENIENTE IDENTIFICADO	FUENTE
La poca disponibilidad de datos, más aún en una economía en desarrollo hace que el MFA requiera de mucho tiempo y recursos.	Millete, 2019 Islam, 2019 Brunner y Rechberger, 2017 Makarichi, 2018
Muchas de las fuentes y actores únicamente conocen o comparten datos aproximados o de baja calidad de los diferentes procesos.	Bao et al., 2010 Islam, 2019 Díaz & Silva, 2015
Falta de estandarización del conjunto de datos a nivel de producto y material que se deriva directamente de la interacción de diferentes actores y los diversos procesos involucrados.	Islam, 2019 Díaz y Silva, 2015

A partir de estos tres bloques o problemas generales, se identificaron los inconvenientes específicos que se presentaron al aplicar la metodología de MFA para el sistema nacional y del cantón Cuenca.

Para la identificación de inconvenientes del cantón Cuenca, fue necesario agrupar algunos procesos específicos bajo el nombre del proceso general que lo engloba, por ejemplo, el proceso de generación desde Domicilios, el de generación de Restaurantes y el de generación de Instituciones Educativas, se agrupan dentro del proceso general “Generación”. Lo mismo sucede con los procesos relacionados al Preprocesamiento y la Comercialización de esta manera, de los 13 procesos específicos con los que se trabajó, se determinaron inconvenientes para seis procesos generales “Generación”, “Recolección formal”, “Recolección informal”, “Preprocesamiento”, “Comercialización”, y “Disposición Final”. En el sistema nacional se agruparon únicamente el Embotellado de bebidas y Embotellado de otros productos como proceso general “Embotellado”.

Con todos los inconvenientes específicos establecidos para los dos sistemas, se realizó un análisis individual para identificar los procesos en los que cada uno se presentó, como se muestra en la Tabla 62 para el sistema de Ecuador y en la Tabla 63 para el cantón Cuenca.

Tabla 62

Inconvenientes específicos del MFA por proceso, para el sistema nacional

Problema general	Problema específico	Manufactura	Distribución y comercialización	Embotellado	Uso y descarte	Reciclaje y gestión	Disposición final	Comercialización de productos reciclados
La poca disponibilidad de datos, más aún en una economía en desarrollo hace que el MFA requiera de mucho tiempo y recursos.	No existe política pública que apoye o incentive el registro de datos en materia de insumos plásticos.	X	X	X	X	X	X	X
	Gran parte de las instituciones/empresas no tienen apertura para compartir su información.	X	X	X	X	X		X
	No existe política pública que apoye o incentive la correcta gestión plásticos a lo largo de su cadena de valor, ni el adecuado registro de datos relacionados con los mismos.	X	X	X	X	X	X	X
	Los estudios de MFA enfocados en materiales plásticos son muy escasos, especialmente en países en vías de desarrollo, lo que dificulta realizar comparaciones o validaciones importantes.	X	X	X	X	X	X	X
	Los datos de importaciones y exportaciones de PET no siempre se registran bajo la partida arancelaria correcta, pues se utilizan otros nombres o descripciones mezclando diferentes materiales, disminuyendo la calidad del registro.	X	X					X
	No existen registros de datos que especifiquen la cantidad de materia	X						

	prima PET destinada a elaborar productos específicos (preformas, lámina, botella, etc.), por lo que se debe usar estimaciones.							
	No se tiene registros sobre los usos y destinos que se le da a los productos generados a partir del reciclaje de botellas PET (pellet, flake, láminas, etc.)					X		X
	Los registros asociados al Impuesto Redimible de botellas plásticas PET, relacionados a la cantidad de botellas puestas en el mercado y las recolectadas, son de difícil acceso y no siempre se reportan adecuadamente.			X		X		
	Se requiere realizar aproximaciones y cálculos adicionales que aportan a la incertidumbre general del sistema.			X	X			
Muchas de las fuentes y actores únicamente conocen o comparten datos aproximados o de baja calidad de los diferentes procesos	En algunos casos, debido a la baja calidad de datos, se requieren procedimientos adicionales para la calibración del modelo y validaciones de los resultados.	X	X	X	X	X	X	X
	Se requieren datos históricos para el cálculo de los valores de la incertidumbre general, los cuáles no siempre están disponibles.	X	X	X	X	X	X	X
	Las empresas únicamente presentan datos aproximados que no siempre corresponde a la cantidad promedio real.	X	X	X	X	X	X	X
	Al basarse en datos aproximados el resultado del MFA no representa rigurosamente el escenario real del	X	X	X	X	X	X	X

	sistema, existen sobre y subestimaciones de los flujos.				
Falta de estandarización del conjunto de datos a nivel de producto y material que se deriva directamente de la interacción de diferentes actores y los diversos procesos involucrados. (Islam,2019)	El factor de conversión de unidades, de botellas a toneladas, establecido por el SRI, es un valor fluctuante y no representa la realidad. dificultando la validación de botellas recolectadas anualmente.			X	
	No hay una estandarización en los registros de valores y unidades de entradas y salidas de productos en el país (Importaciones y exportaciones de productos).	X	X		X
	No existe un peso promedio estándar para la conversión de botellas PET a kilogramos o toneladas al momento de la comercialización.			X	X

Tabla 63

Inconvenientes específicos del MFA por proceso, para el sistema cantonal

Problema General	Problema Específico	Generación	Recolección Formal	Recolección Informal	Preprocesamiento	Comercialización	Disposición Final
La poca disponibilidad de datos, más aún en una economía en desarrollo hace que el MFA requiera de mucho tiempo y recursos.	Los estudios de MFA para residuos son muy escasos, especialmente en países en vías de desarrollo que requieran analizar fuentes de generación específicas, dificultando realizar comparaciones o validaciones importantes	X	X	X	X	X	X
	Muchos de los datos disponibles corresponden a años anteriores y no han sido actualizados	X				X	
	La capacidad institucional de recopilación de estadísticas puede estar subdesarrollada y no se lleva registros históricos de sus actividades.	X		X	X	X	X
	No existe política pública que apoye o incentive la correcta gestión de residuos plásticos ni el adecuado registro de datos relacionados con los mismos desde diferentes fuentes.	X	X	X	X	X	X
	No existen datos accesibles de cantidad de botellas que ingresan al cantón desde las embotelladoras y distribuidoras a nivel nacional.	X					
	No hay suficiente información sobre el total de personas que laboran como recicladores de base, por lo				X		X

	que se trabaja con un número aproximado, lo que interfiere en los datos y resultados							
	No existe una base de datos unificada de las cantidades de material manejadas por parte de los recicladores de base			X		X		X
	El acceso a datos desde los intermediarios es muy difícil de obtener, por la discreción en el manejo de su información dejando vacíos importantes en cuanto a cantidades, lugares y valores de compra y venta del material.							X
	Los registros asociados al Impuesto Redimible de botellas plásticas PET, relacionados a la cantidad de botellas puestas en el mercado y las recolectadas, son de difícil acceso y no siempre se reportan adecuadamente.			X				X
Muchas de las fuentes y actores únicamente conocen o comparten datos aproximados o de baja calidad de los diferentes procesos	En algunos casos, debido a la baja calidad de datos, se requieren procedimientos adicionales para la calibración del modelo y validaciones de los resultados.	X	X	X		X		X
	Se requieren datos históricos para el cálculo de los valores de la incertidumbre, los cuales no siempre están disponibles.	X	X	X		X		X
	El uso de datos de años anteriores o localidades similares al área de estudio, implica realizar cálculos y	X						X

	aproximaciones adicionales adaptadas al contexto local.						
	Las bases de datos de la Empresa Pública de recolección del cantón, caracteriza y cuantifica los residuos en categorías generales de materiales, dificultando la obtención de cantidades específicas para materiales específicos.	X	X				X
	Los recicladores de base comparten información aproximada, obtenida de manera empírica pues no llevan registros formales de recolección ni ventas.			X	X	X	
Falta de estandarización del conjunto de datos a nivel de producto y material que se deriva directamente de la interacción de diferentes actores y los diversos procesos involucrados. (Islam,2019)	El factor de conversión de unidades de botellas a toneladas establecido por el SRI, es un valor fluctuante y no representa la realidad. dificultando la validación de botellas puestas en el mercado anualmente.	X					X
	Los registros de residuos reportados por los diferentes actores no siempre utilizan la misma unidad de medida, e incluso se utilizan medidas no estandarizadas (sacos, tolas, tanques, etc.)	X		X	X		X
	No existe un peso promedio estándar para la conversión de botellas PET a kilogramos o toneladas al momento de la comercialización						X

Finalmente, para representar los problemas que aparecen con mayor frecuencia en los sistemas, se utilizó gráficos que faciliten su visualización tanto para el sistema nacional como para el sistema del cantón Cuenca, estos gráficos se presentan más adelante en la sección 5.1.1 y 5.2.1 de la sección de resultados.

5. RESULTADOS

En este apartado se abordarán los resultados obtenidos del MFA a nivel del Ecuador en la sección 5.1 y del cantón Cuenca en la sección 5.2, así como los inconvenientes detectados en ambos niveles a lo largo de la realización de este estudio. Adicionalmente en la sección 5.3 se plantean propuestas de mejora para problemas identificados en procesos clave a nivel local.

5.1 Resultados Sistema Nacional

Se obtuvo el MFA de botellas PET en Ecuador, en el que se pudo identificar 8 procesos involucrados con los respectivos flujos que los conectan, de estos, el flujo correspondiente a bebidas embotelladas es el principal y abarca la mayor cantidad de toneladas de botellas PET. Los puntos claves de este sistema son los procesos de Manufactura, Distribución y Comercialización, Embotellado, Uso y Descarte y Reciclaje.

En la Tabla 64 se presenta un resumen de los datos empleados para los flujos de los procesos del sistema del cantón Cuenca.

Tabla 64

Resumen de datos empleados en el MFA del sistema de Ecuador

Etapa	Proceso de partida	Cantidad (t/año)	Proceso de llegada	Total
Etapa 1 (Manufactura)	Importación de PET	43 361,34	Manufactura/Producción	54 070,06
	Importación HDPE para tapas	4 108,71		
	Reingreso de rPET local	6 600		
Etapa 2 (Comercialización)	Manufactura/Producción	53 325,63	Distribución y Comercialización	55 669,86
	Importación de botellas PET vacías	2 344,23		
Etapa 3 (Embotellado)	Distribución y Comercialización	47 319,38	Embotellado de Bebidas	55 669,86
	Distribución y Comercialización	8 350,48	Embotellado de Otros Productos	
Etapa 4 (Uso y Descarte)	Embotellado de Bebidas	47 207,35	Uso y Descarte	56 838,65
	Embotellado de Otros Productos	7 035,67		
	Importación de Bebidas en botellas PET	1 200,86		
	Importación de Otros Productos en botellas PET	1 394,78		
Etapa 5 (Exportación)	Embotellado de Bebidas	112,03	Exportación de productos embotellados	1 426,85
	Embotellado de Otros Productos	1 314,81		
Etapa 6 (Reciclaje)	Uso y Descarte de Bebidas	43 567,38	Reciclaje	44 067,00
	Manufactura/Producción	499,61		
Etapa 7 (Disposición Final)	Uso y Descarte de Bebidas (no recolectadas)	4840,82	Disposición Final	13 516,08
	Uso y Descarte de Otros Productos	8430,45		
	Manufactura/Producción	244,81		

Con todos los datos ingresados en el software STAN, se obtuvo el diagrama final de MFA de botellas PET en el Ecuador, el cual se puede observar a continuación, en la Figura 6.

En cuanto a los flujos del material, se pudo determinar todas las entradas y salidas de manera que se cumplió el respectivo balance de masa, teniendo como flujo tanto de entrada como de salida un total de 59 009,92 toneladas.

Se evidenció que ingresa materia prima virgen para la fabricación de botellas en un 86,79 % (43 361,34 toneladas) y solo el 13,21 % (6600 toneladas) corresponde a pellets PET reciclados. De la materia prima virgen que ingresa al proceso de Manufactura, el 3 % (1 498,84 toneladas) es material que sale como resultado del prendido de máquinas pero que puede reinsertarse en el proceso productivo; el 1 % (499,62 toneladas) corresponde a material que por fallas de diseño o motivos similares no puede concretar su función y se envían al proceso de Reciclaje; un 0,49 % (244,81 toneladas) son desechos que no pueden ser aprovechados y se envían a la Disposición Final. El 95,51 % restante (53 325,63 toneladas) se convierten en botellas y pasan al proceso de Distribución y Comercialización.

Adicional a la entrada de botellas PET desde la Manufactura, en el proceso de Distribución y Comercialización se evidenció una entrada de 2344,23 toneladas al año (4,21 %) correspondiente a la importación de “botellas vacías” según la descripción del producto dentro de la partida arancelaria.

Se puede observar que el 85 % (47 319,38 toneladas) de botellas PET distribuidas y comercializadas, se destina al embotellado de bebidas alcohólicas y no alcohólicas, mientras que el 15 % restante (8 360,48 toneladas), se destina al embotellado de otros productos en PET como salsas, aceites, cosméticos y champús.

Del total de productos embotellados (bebidas y otros productos) que pasan al mercado/consumo, el 97,44 % (54 243,02 toneladas) de botellas PET van al proceso de Uso y Descarte; y el 2,56 % restante (1 426,84 toneladas) es exportado. Podemos observar que a pesar de que la cantidad de material que se dirige al Embotellado de bebidas supera a la cantidad destinada al Embotellado de otros productos, el flujo de exportación de “otros productos” supera ampliamente a la exportación de bebidas, teniendo 1 314,81 toneladas en contraste con 112,03 toneladas de bebidas exportadas.

Desde el proceso nacional de Embotellado, ingresan al proceso de Uso y Descarte botellas de bebidas y otros productos. Además, se considera el flujo de importación de productos embotellados en PET, que corresponde a 2 595,66 toneladas.

Al Final del Uso y Descarte, las botellas que no son de bebidas corresponden al 14,83 % (8 430,45 toneladas) y son enviadas a la Disposición Final sin tener ningún otro tipo de uso o aprovechamiento; el 8,52 % (4 840,82 toneladas) son botellas de bebidas que por una inadecuada disposición no fueron recolectadas y también se dirigen hacia la Disposición Final. El porcentaje restante, 76,65 % (43 567,39 toneladas) corresponde a botellas de bebidas que fueron al Reciclaje para ser transformadas en flake o pellets, y que servirán como base para la fabricación de nuevos productos.

Al proceso de Reciclaje ingresan, a más de las botellas de bebidas descartadas, 499,62 toneladas de botellas PET desde el proceso de Manufactura. Del total de estas entradas de botellas, el 8 % corresponde a tapas de HDPE las cuales son comercializadas localmente o exportadas para elaborar productos como: quineros, cabos, tuberías, sillas, jabas, mesas, entre otros; el porcentaje restante, 92 % (40 541,85 toneladas) salen de este proceso hacia la Comercialización de productos reciclables. Un punto importante a destacar es que, de acuerdo a los datos levantados, el sector informal tiene una participación de alrededor del 95 % en el reciclaje de este tipo de material, a través de la recolección, selección y almacenamiento sea a pie de vereda o dentro de los centros de acopio.

En la Comercialización de productos reciclados, se determinó que el 61,18 % (24 802,08 toneladas) se exporta como flake para elaborar principalmente lámina PET para envases termoformados; el 5,8 % (2 351,24 toneladas) se exporta como pellet para elaborar botellas y otros envases; el 16,28 % (6 600 toneladas) corresponde a pellets que se usan localmente para fabricar botellas; y el porcentaje restante, es decir 16,74 % (8 788,33 toneladas) se comercializó dentro del país como flake y pellet.

El análisis de incertidumbre del sistema nacional se realizó cualitativa y cuantitativamente. La incertidumbre cualitativa, como se observa en la Tabla 65, muestra un total de 8 datos “buenos” y 15 “regulares”, esto se debe principalmente a la escasez de información y falta de registros formales. Por otro lado, las incertidumbres cuantitativas resultan en un porcentaje promedio de 15,93 % que se calculó utilizando datos del 2017 y 2018, obtenidos a partir de archivos de bases de datos y variaciones poblacionales. El resultado de estos análisis nos permite utilizar estos datos, pues si bien la calidad regular de los datos demostrada en la matriz de Pedigree se relaciona con aspectos sujetos a correlación geográfica y temporal que en este primer

acercamiento no se pudo mejorar, el porcentaje de incertidumbre cuantitativa que representa el margen de error en relación a datos anteriores, es un porcentaje relativamente bajo que da validez a los datos y los hace aptos para utilizarlos.

Tabla 65

Resultados incertidumbre cualitativa del sistema nacional

RANGO	INTERPRETACIÓN	RESULTADO
<= 1,5	MUY BUENO	0
1,6 - 2,5	BUENO	8
2,6 - 3,5	REGULAR	15
3,6 - 4,5	MALO	0
> 4,5	MUY MALO	0

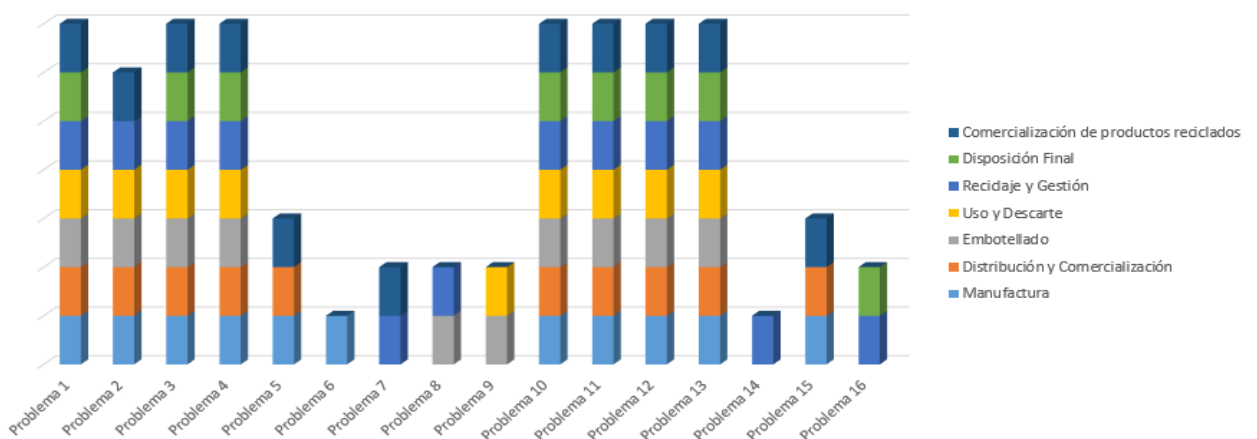
5.1.1 Inconvenientes detectados al realizar MFA del sistema Nacional

Al analizar los inconvenientes que se presentaron en el estudio, se identificaron 16 problemas agrupados en los tres bloques de problemas generales descritos en la metodología (ver Sección 4.3), se determinó la frecuencia con que inciden los mismos en relación a los procesos del sistema y se representó mediante la Figura 7.

Figura 7

Inconvenientes detectados en relación a los procesos del sistema nacional

Inconvenientes del Sistema Nacional



Los procesos del sistema, representados por los diferentes colores en la Figura 7, se ven afectados en mayor o menor medida por los problemas específicos explicados en la Tabla 65. A continuación se resume los siguientes puntos relevantes:

- Los ocho procesos del sistema, son afectados por: los problemas 1 y 3 (falta de políticas públicas en torno a la gestión de plásticos); el problema 4 (sobre la falta de estudios de MFA en países desarrollados); el 10 y 11 (sobre la necesidad de calcular incertidumbres y validaciones de datos respectivamente); y, el problema 12 y 13 (aproximación de los datos y la variabilidad de sus estimaciones).
- Siete procesos fueron afectados por el problema 2 relacionado con la poca apertura de las empresas para compartir datos.
- Tres procesos fueron afectados por los problemas 5 y 15 relacionados con el registro de importaciones y exportaciones.
- Con una frecuencia menor, dos procesos fueron afectados por: el problema 7 que indica la falta de información sobre usos de material reciclado de producción nacional; el problema 8 sobre el difícil acceso a datos sobre el Impuesto Redimible a las Botellas Plásticas (IRBP); el problema 9 sobre el uso de cálculos adicionales en las incertidumbres; y, el problema 16 relacionados a la falta de un peso promedio de botellas para la conversión a toneladas.
- Finalmente, el problema 6 relacionado con los registros de uso de materia prima PET, afectó específicamente a un problema (Manufactura); y el problema 14 sobre un factor irreal de conversión de botellas a kilogramo, afectó sólo al proceso de Reciclaje.

Para revisar a mayor detalle los problemas expuestos, ver la Tabla 66.

Tabla 66

Inconvenientes específicos del sistema nacional

INCONVENIENTES ESPECÍFICOS - SISTEMA NACIONAL	
Problema 1	No existe política pública que apoye o incentive el registro de datos en materia de insumos plásticos
Problema 2	Gran parte de las instituciones/empresas no tienen apertura para compartir su información
Problema 3	No existe política pública que apoye o incentive la correcta gestión de plásticos a lo largo de su cadena de valor, ni el adecuado registro de datos relacionados con los mismos.
Problema 4	Los estudios de MFA enfocados en materiales plásticos son muy escasos, especialmente en países en vías de desarrollo, lo que dificulta el realizar comparaciones o validaciones importantes
Problema 5	Los datos de importaciones y exportaciones de PET no siempre se registran bajo la partida arancelaria correcta, pues se utilizan otros nombres o descripciones mezclando diferentes materiales, disminuyendo la calidad del registro.
Problema 6	No existen registros de datos que especifiquen la cantidad de materia prima PET destinada a elaborar productos específicos (preformas, lámina, botella, etc.), por lo que se debe usar estimaciones
Problema 7	No se tiene registros sobre los usos y destinos que se le da a los productos generados a partir del reciclaje de botellas PET (pellet, flake, láminas, etc.)
Problema 8	Los registros asociados al Impuesto Redimible de botellas plásticas PET, relacionados a la cantidad de botellas puestas en el mercado y las recolectadas, son de difícil acceso y no siempre se reportan adecuadamente
Problema 9	Se requiere realizar aproximaciones y cálculos adicionales que aportan a la incertidumbre general del sistema
Problema 10	En algunos casos, debido a la baja calidad de datos, se requieren procedimientos adicionales para la calibración del modelo y validaciones de los resultados.
Problema 11	Se requieren datos históricos para el cálculo de los valores de la incertidumbre general, los cuáles no siempre están disponibles.
Problema 12	Las empresas son cautelosas con la información que comparten, por lo que únicamente presentan datos aproximados que no siempre corresponde a la cantidad promedio real.

Problema 13	Al basarse en datos aproximados el resultado del MFA no representa rigurosamente el escenario real del sistema, existen sobre y subestimaciones de los flujos.
Problema 14	El factor de conversión de unidades, de botellas a toneladas, establecido por el SRI, es un valor fluctuante y no representa la realidad. dificultando la validación de botellas recolectadas anualmente.
Problema 15	No hay una estandarización en los registros de los valores y unidades de entradas y salidas de productos en el país (Importaciones y exportaciones de productos)
Problema 16	No existe un peso promedio estándar para la conversión de botellas PET a kilogramos o toneladas al momento de la comercialización

5.2 Resultados de Sistema del cantón Cuenca

Se obtuvo el MFA para la fase de fin de vida de botellas PET en el cantón Cuenca, en el que se pudo identificar 13 procesos involucrados en el sistema y los diferentes flujos que los conectan, así como los puntos clave dentro del mismo que son, Generación con sus 3 fuentes principales (Domicilios, Restaurantes e Instituciones Educativas); Recolección y Comercialización a intermediarios locales.

En la Tabla 67 se presenta un resumen de los datos empleados para los flujos de los procesos del sistema del cantón Cuenca.

Tabla 67

Resumen de datos empleados en el MFA del sistema del cantón Cuenca

Etapa	Proceso de partida	Cantidad (t/año)	Proceso de llegada	Total
Etapa 1 (Generación)	Consumo Domicilios	838,19	Generación Domicilios	838,19
	Consumo Restaurantes	216,03	Generación Restaurantes	216,03
	Consumo Instituciones Educativas	149,08	Generación Instituciones Educativas	149,08
Etapa 2 (Recolección)	Generación Domicilios	1,07	Recolección Punto Limpio	1,07
	Generación Domicilios	14,55	Recolección Formal	20,89
	Generación Restaurantes	3,75		

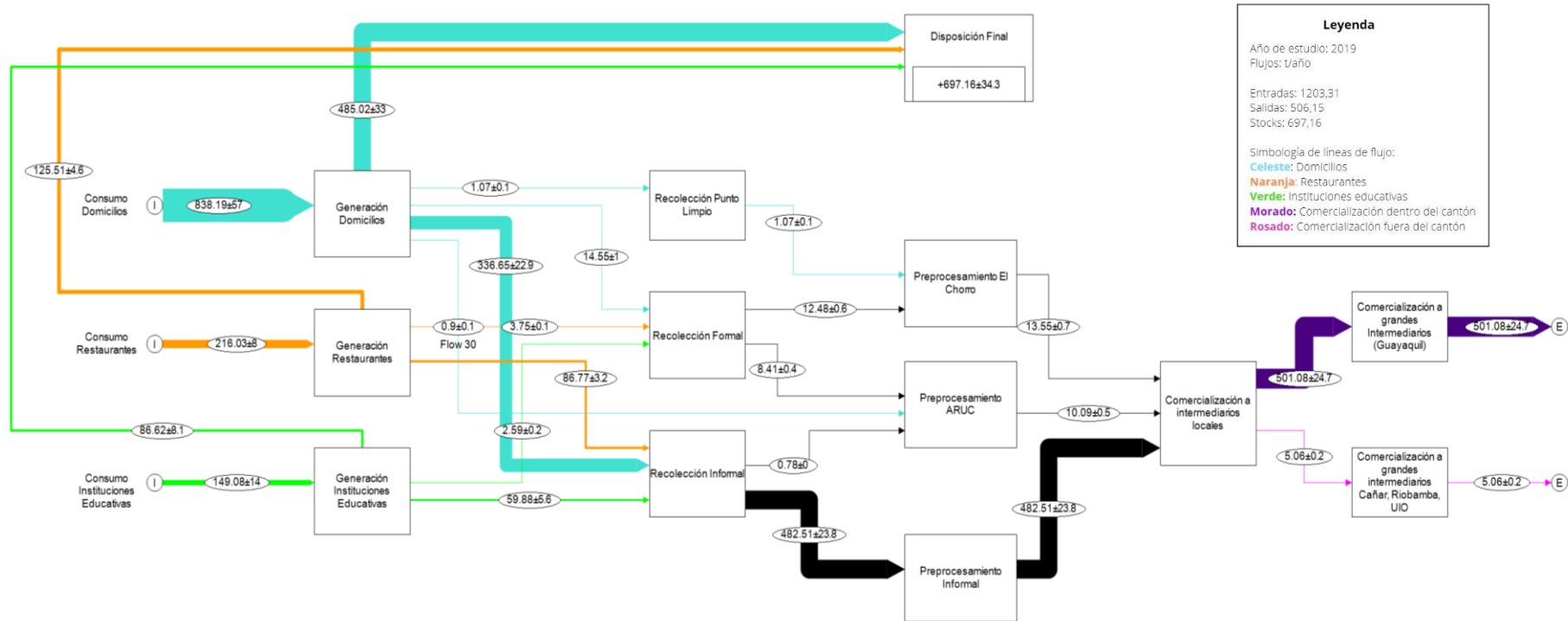
	Generación Instituciones Educativas	2,59		
	Generación Domicilios	336,65		
	Generación Restaurantes	86,77	Recolección Informal	483,3
	Generación Instituciones Educativas	59,88		
Etapa 3 (Preprocesamiento)	Recolección Punto Limpio	1,07	Preprocesamiento El Chorro	13,55
	Recolección Formal	12,48		
	Recolección Formal	8,41		
	Recolección Informal	0,78	Preprocesamiento ARUC	10,09
	Generación Domicilios (venta directa a ARUC)	0,9		
	Recolección Informal	482,51	Preprocesamiento Informal	482,51
Etapa 4 (Comercialización a Intermediarios)	Preprocesamiento El Chorro	13,55	Comercialización a intermediarios	506,15
	Preprocesamiento ARUC	10,09		
	Preprocesamiento informal	482,51		
Etapa 5 (Disposición Final)	Generación Domicilios	485,03	Disposición Final	697,17
	Generación Restaurantes	125,52		
	Generación Instituciones Educativas	86,62		

Nota. La cantidad de toneladas de residuos de botellas PET que llegan al proceso de Comercialización a intermediarios, son vendidos fuera del cantón para procesos de Reciclaje.

Con todos los datos ingresados en STAN, se obtuvo el diagrama final de MFA de residuos de botellas PET en el cantón Cuenca, el cual se puede observar a continuación, en la Figura 8.

Figura 8

MFA de residuos de botellas PET en el cantón Cuenca



Los resultados indican que los Domicilios, que incluyen otros sectores como tiendas, oficinas, hoteles, boutiques, farmacias, industrias y otros cuyos residuos son recolectados sin diferenciación, son los que generan la mayor cantidad de residuos de botellas PET con un 69,66 % (838,19 toneladas), seguido por los Restaurantes con 17,95 % (216,03 toneladas) y las Instituciones Educativas con 12,39 % (149,08 toneladas). Por lo tanto, según estos datos, desde el consumo y descarte local de bebidas embotelladas en PET, al sistema ingresaron 1 203,31 toneladas de residuos de botellas PET en el 2019. Este dato, comparado con el valor registrado en el SRI correspondiente al IRBP de 1 328,01 toneladas, indica una similitud entre los valores que se pusieron en el mercado en dicho año y que por lo tanto llegaron a consumirse y convertirse en residuos. Se utiliza el valor calculado desde los datos levantados, pues reflejan de manera diferenciada por generadores las toneladas consumidas, al contrario del dato del SRI, que es un monto único reportado anualmente.

Se evidenció que la recolección informal a pie de vereda, tiene el 95,32 % de participación en las labores de recolección de residuos de botellas PET en el cantón Cuenca; mientras que la recolección formal, que contempla la recolección en el punto limpio y la funda celeste a cargo de EMAC corresponde al 4,32 %; por último, la recolección y venta directa por parte de personas naturales corresponde al 0,25 % de la recolección de residuos de botellas PET.

En cuanto al Preprocesamiento en las modalidades centro de acopio (ARUC y El Chorro) e informal, en todos los casos, de acuerdo a datos proporcionados por los recicladores de base y por las grandes recicladoras del país, se aprovecha al 100 % los residuos de botellas. Esto ocurre debido a la alta eficiencia en la recolección y también al hecho de que, a nivel de intermediarios locales, la selección no tiene una rigurosidad de alto nivel por lo que no hay botellas que sean devueltas o enviadas a la Disposición Final.

El proceso de Comercialización se realiza con intermediarios locales a quienes se vende todo el material procesado. Se pudo identificar de acuerdo a información secundaria, que el 99 % de lo recolectado se comercializa a la ciudad de Guayaquil, lo que se corrobora con que las ubicaciones de las empresas recicladoras más grandes del país se encuentran en esa ciudad. Esto se ratifica con las entrevistas realizadas a grandes intermediarios para levantar información del proceso de Reciclaje de botellas PET a

nivel nacional, en las que establecen que un porcentaje de lo que les llega de botellas viene desde Cuenca.

Lo que no se comercializa o no se ha recolectado, ingresa al proceso de Disposición Final, en el que se observa que son 697,16 toneladas, es decir el 57,94 % de residuos del total generado que ingresa en todo el sistema. Esto significa que un poco más de la mitad de las botellas PET que se pusieron en el mercado y se descartaron, no fueron recolectadas y por lo tanto terminan en el relleno sanitario, fueron almacenadas en los sitios de generación o dispuestas en el medio ambiente sin ninguna consideración técnica.

El análisis de incertidumbres del sistema se realizó cualitativa y cuantitativamente. La incertidumbre cualitativa, como se observa en la Tabla 68 muestra un total de 11 datos “buenos”, 10 “regulares” y 3 “malos”, esto se debe a que al igual que en el sistema nacional, existe escasez de información y falta de registros formales. No existen datos levantados de forma directa en los propios generadores, los Domicilios, Restaurantes e Instituciones Educativas no cuentan con registros, ni se evidenciaron estudios de caracterización que incluyan a botellas PET en específico.

Tabla 68

Resultados incertidumbre cualitativa del sistema cantonal

RANGO	INTERPRETACIÓN	RESULTADO
<= 1,5	MUY BUENO	0
1,6 - 2,5	BUENO	11
2,6 - 3,5	REGULAR	10
3,6 - 4,5	MALO	3
> 4,5	MUY MALO	0

Por otro lado, las incertidumbres cuantitativas resultan en un porcentaje promedio de 4,29 % que se calculó utilizando datos del 2017 y 2018 obtenidos a partir de datos encontrados para estos años, regresiones lineales con valores de bases de datos y variaciones poblacionales.

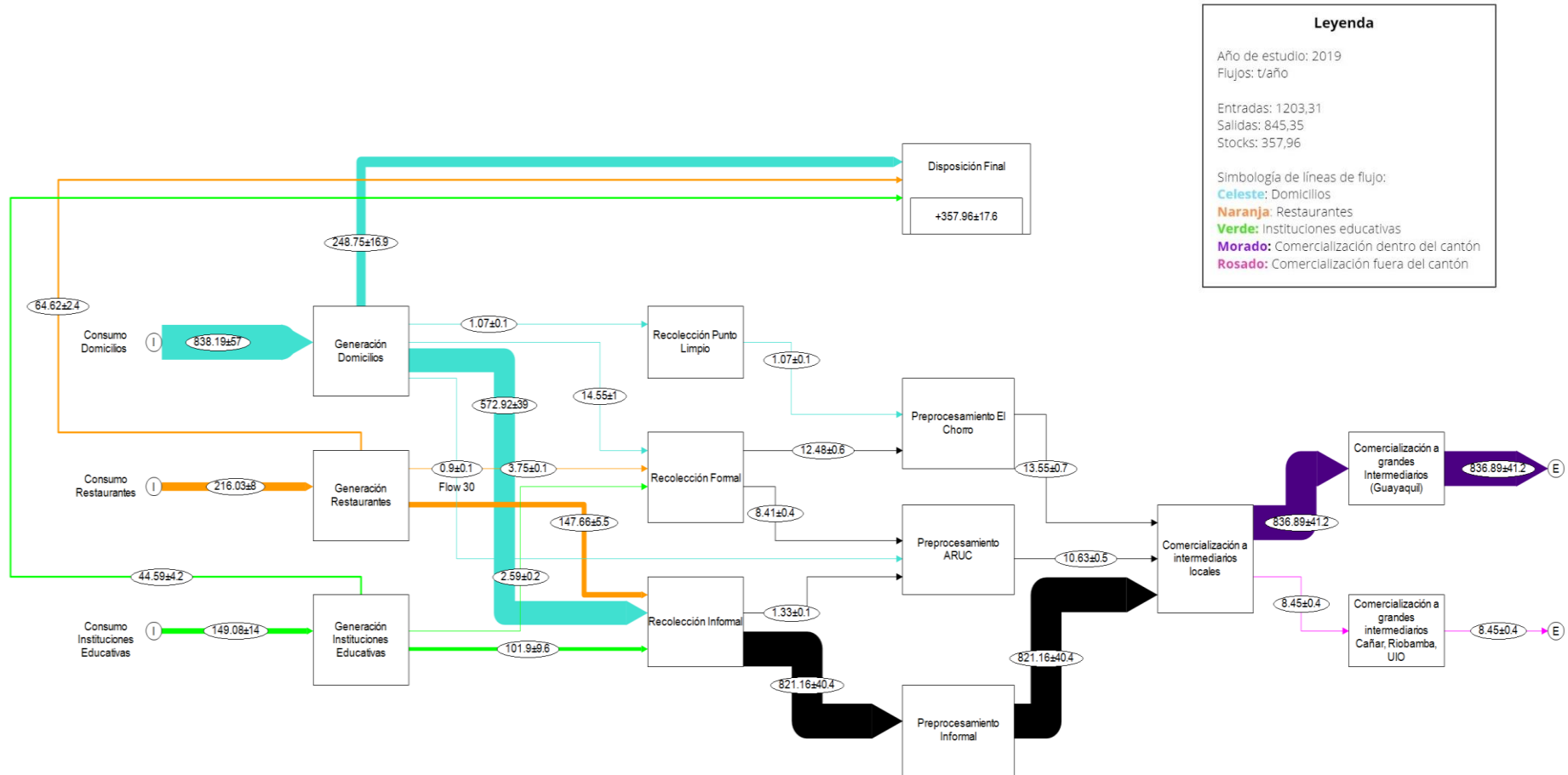
El resultado de estos análisis nos permite utilizar estos datos, pues si bien la calidad de los datos “regulares” o incluso algunos “malos” que demuestra la matriz de Pedigree se relaciona con aspectos sujetos a correlación geográfica, temporal o su nivel de representatividad que en este primer acercamiento al sistema de gestión de residuos no

se pudo mejorar, el porcentaje de incertidumbre cuantitativa obtuvo un valor aceptable que da validez a lo datos y los hace aptos para utilizarlos.

En cuanto al escenario alternativo que se planteó a partir de las validaciones con expertos, la Figura 9 presenta los resultados y variaciones en los flujos del sistema.

Figura 9

Escenario alternativo MFA de residuos de botellas PET en el cantón Cuenca



Al aumentar la cantidad de recicladores de base de la cifra oficial de 600, a una cifra estimada de 1 000 que considera recicladores no registrados, se puede observar, que el principal cambio se refleja en los flujos que ingresan a los procesos de Recolección Informal y Procesamiento Informal. Este aumento se da de 483,29 toneladas a 822,49 toneladas, es decir hay un aumento del 70,18 % o 339,2 toneladas de botellas recolectadas.

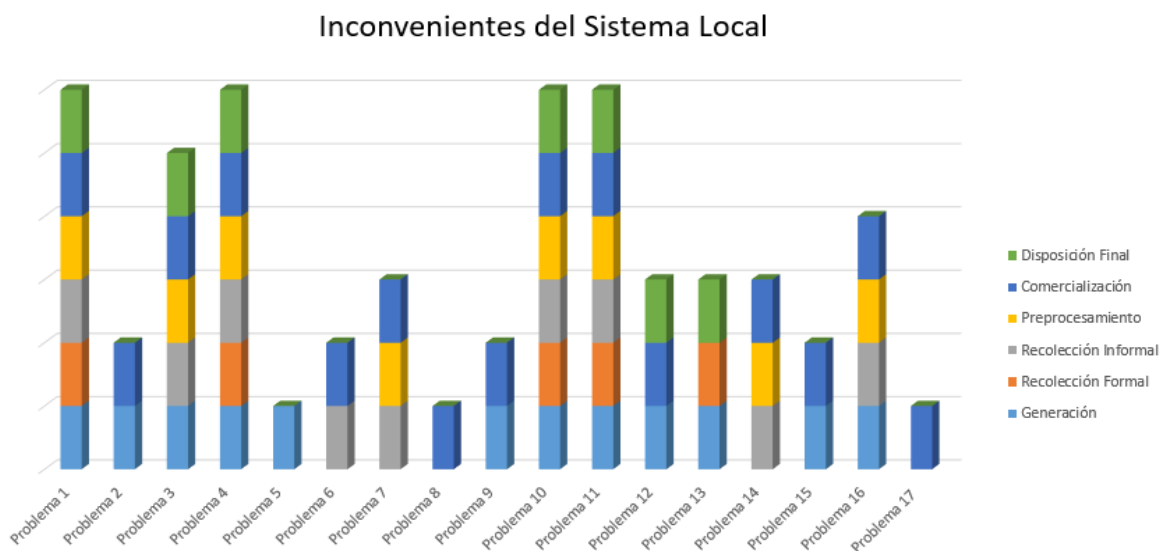
Otro cambio importante a considerar, es la reducción de la cantidad de residuos de botellas PET que llegan al proceso de Disposición Final. En el escenario base, llegaban 697,16 toneladas, mientras que, con el escenario alternativo, se redujo a 357,96 toneladas, es decir este flujo se redujo en un 48,65 % lo que evidencia aún más la incidencia que tienen los recicladores de base en la gestión de estos residuos.

5.2.1 Inconvenientes detectados al realizar MFA del sistema cantonal

Como se hizo en el sistema nacional, al analizar los inconvenientes que se presentaron en el estudio, se identificaron 17 problemas agrupados en los tres bloques de problemas generales descritos en la metodología (Sección 4.3), y se determinó la frecuencia con que inciden los mismos en relación a los procesos del sistema de residuos de botellas PET en Cuenca (Figura 10).

Figura 10

Inconvenientes detectados en relación a los procesos del sistema cantonal



En el gráfico 10, se puede observar los siguientes puntos relevantes:

- Todos los seis procesos del sistema fueron afectados por el problema 1 (falta de estudios de MFA en países desarrollados); el problema 4 (falta de políticas públicas en torno a la gestión de residuos); el problema 10 (necesidad de calcular incertidumbres); y el 11 (validaciones de datos respectivamente).
- Cinco procesos fueron afectados por el problema 3 relacionado con la falta de estadística y registros históricos en instituciones, afectó a 5 procesos.
- Cuatro procesos fueron afectados por el problema 16 sobre la falta de estandarización en unidades de medidas.
- Tres procesos se vieron afectados por problemas como el 7 (falta de bases de datos de cantidades recolectadas por recicladores); el 12 (necesidad de realizar cálculos y aproximaciones en datos de años anteriores); el 13 (falta de categorías en la caracterización de residuos de la empresa pública); y el problema 14 (datos empíricos y falta de registros formales de recicladores).
- Dos procesos del sistema fueron afectados por el problema 2 sobre la falta de actualización de datos; el 6 sobre la inexactitud del número oficial de recicladores; el 9 sobre el difícil acceso a datos del IRBP a nivel cantonal; y el problema 15 relacionado a un factor irreal de conversión de botellas a kilogramo.
- Por último, el problema 5 (acceso a datos de distribución desde embotelladoras) afectó específicamente al proceso de Generación. El problema 8 (difícil acceso a datos desde los intermediarios); y el 17 (falta de un peso promedio de botellas para la conversión a toneladas), afectaron únicamente al proceso de Comercialización.

Para revisar a mayor detalle los problemas expuestos, ver la Tabla 69.

Tabla 69

Inconvenientes específicos del sistema cantonal

PROBLEMAS ESPECÍFICOS - SISTEMA CANTONAL	
Problema 1	Los estudios de MFA para residuos son muy escasos, especialmente en países en vías de desarrollo que requieran analizar fuentes de generación específicas, dificultando el realizar comparaciones o validaciones importantes
Problema 2	Muchos de los datos disponibles corresponden a años anteriores y no han sido actualizados
Problema 3	La capacidad institucional de recopilación de estadísticas puede estar subdesarrollada y no se llevan registros históricos de sus actividades.
Problema 4	No existe política pública que apoye o incentive la correcta gestión de residuos plásticos ni el adecuado registro de datos relacionados con los mismos desde diferentes fuentes.
Problema 5	No existen datos accesibles de la cantidad de botellas que ingresan al cantón desde las embotelladoras y distribuidoras a nivel nacional.
Problema 6	No hay suficiente información sobre el total de personas que laboran como recicladores de base, por lo que se trabaja con un número aproximado, lo que interfiere en los datos y resultados
Problema 7	No existe una base de datos unificada de las cantidades de material manejadas por parte de los recicladores de base
Problema 8	El acceso a datos desde los intermediarios es muy difícil de lograr, por la discreción en el manejo de su información dejando vacíos importantes en cuanto a cantidades, lugares y valores de compra y venta del material
Problema 9	Los registros asociados al Impuesto Redimible de botellas plásticas PET, relacionados a la cantidad de botellas puestas en el mercado y las recolectadas, son de difícil acceso y no siempre se reportan adecuadamente
Problema 10	En algunos casos, debido a la baja calidad de datos, se requieren procedimientos adicionales para la calibración del modelo y validaciones de los resultados.
Problema 11	Se requieren datos históricos para el cálculo de los valores de la incertidumbre, los cuáles no siempre están disponibles
Problema 12	El uso de datos de años anteriores o localidades similares al área de estudio, implica realizar cálculos y aproximaciones adicionales adaptadas al contexto local.

Problema 13	Las bases de datos de la Empresa Pública de recolección del cantón, caracteriza y cuantifica los residuos en categorías generales de materiales, dificultando la obtención de cantidades específicas para materiales específicos
Problema 14	Los recicladores de base comparten información aproximada, obtenida de manera empírica, pues no llevan registros formales de recolección ni ventas
Problema 15	El factor de conversión de unidades de botellas a toneladas establecido por el SRI, es un valor fluctuante y no representa la realidad, dificultando la validación de botellas puestas en el mercado anualmente.
Problema 16	Los registros de residuos reportados por los diferentes actores no siempre utilizan la misma unidad de medida, e incluso se utilizan medidas no estandarizadas (sacos, tolas, tanques, etc.)
Problema 17	No existe un peso promedio estándar para la conversión de botellas PET a kilogramos o toneladas al momento de la comercialización

5.3 Propuestas de mejora para procesos y flujos clave detectados

Con los resultados obtenidos en el MFA de botellas PET en el Ecuador y en el MFA de residuos de botellas PET en el cantón Cuenca, se identificaron los procesos y flujos claves en los sistemas, así como algunos factores que los afectan. Con base en ellos, se realizó un primer planteamiento de propuestas de mejora basadas en revisión bibliográfica que contribuyan al fortalecimiento del sistema de gestión de botellas PET tanto a nivel cantonal como nacional, para que en futuras investigaciones puedan ser profundizadas. Estas propuestas se pueden observar a continuación, en la Tabla 70.

.

Tabla 70.

Propuestas de mejora del sistema de gestión de botellas PET

PROCESO	FLUJO CLAVE	PROBLEMA	FACTORES	PROPUESTAS DE MEJORA
MANUFACTURA	PET reciclado (rPET)	En la fabricación de botellas PET solo el 13,21% de materia prima utilizada corresponde a PET reciclado	<ul style="list-style-type: none"> -Es más económico utilizar material virgen, el rPET es en promedio 0,50 ctv/kilo más costos (PET virgen aprox. \$1,69/kilo; rPET aprox. \$2,18/kilo). -Falta de control y cumplimiento de la normativa nacional que estipula el uso del 25% de rPET en la fabricación de botellas. -La escasa producción de rPET de grado alimenticio a nivel nacional, no satisface la demanda de las industrias manufactureras que buscan incorporarlo en sus procesos productivos. -Falta de incentivos económicos y ambientales que promuevan el uso de rPET en la fabricación de botellas. 	<ul style="list-style-type: none"> - La autoridad ambiental debe mejorar el control de la normativa que regula el uso del 25% de rPET en la fabricación de botellas, contemplando la certificación ambiental para las empresas que cumplan con esta disposición. - Implementación de un incentivo económico o de imagen corporativa para las industrias que incorporen en sus procesos al menos el 50% de rPET en la fabricación de botellas. - Dado que el 80% del impacto ambiental que va a tener el producto (botellas PET) corresponde al envase (National Geographic, 2019), se debería fomentar la innovación en ecodiseño, re pensando los envases para ser más eficientes con el uso de recursos y materia prima. - Implementar ecoetiquetas que avalen el uso de rPET en la fabricación de botellas para influir en la elección del cliente y fomentar su incorporación por parte de otras manufactureras. - Fortalecer las capacidades industriales de fabricación de botellas PET mediante capacitaciones sobre ecodiseño e importancia del uso de rPET que ayuden a potenciar los procesos productivos.
DISTRIBUCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE BOTELLAS PET	Botellas PET vacías importadas	Falta de control en los precios de importación de botellas PET vacías, resulta en que aprox. 2345 toneladas de botellas ingresen al país, afectando negativamente a la producción y consumo local de botellas PET	<ul style="list-style-type: none"> -Las botellas PET vacías entran al país con bajos costos de importación -No existen requisitos de calidad o control de materiales que limiten la importación de botellas vacías 	<ul style="list-style-type: none"> - Participación de industrias locales de manufactura de PET en las negociaciones sobre Tratados de Libre Comercio (TLC) para evitar que los aranceles de importación bajen y afecten la producción local de botellas PET. - Incrementar los controles sobre la importación de botellas PET, priorizando que en su composición, estos superen la normativa exigida a nivel local (25% de material reciclado), conteniendo al menos un 50% de rPET. - Reemplazar las etiquetas con contenido de PVC por alternativas como etiquetas con PP que puede reciclarse. - Optar por el ecodiseño considerando la uniformidad de materiales del envase, uso de botellas transparentes y diseños de botellas sin etiquetas, de manera que estas no agreguen un elemento adicional a la botella que deba gestionarse, y por lo tanto incrementen la reciclabilidad de las botellas.
EMBOTELLADO	Botellas de bebidas y otros productos	Los materiales de los que se componen los elementos de una botella PET, dificultan su reciclabilidad	<ul style="list-style-type: none"> -Elementos y características de la botella: <ul style="list-style-type: none"> *tapas de distinto material al de la botella, *etiquetas con PVC, *diferentes colores de botellas PET. 	<ul style="list-style-type: none"> - Certificaciones ambientales a las embotelladoras que cumplan con capacitaciones en trabajo colaborativo con actores clave como recicladores de base quienes conocen de primera mano los problemas que encuentran al recolectar material contaminado. - Incorporar estrategias de recuperación de botellas como parte de la ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) que establece que los productores mantengan un grado de responsabilidad por los impactos ambientales de sus productos -Crear incentivos como canjes por productos o dinero, para incrementar la tasa de recuperación desde los generadores de residuos.
		El 15% de productos embotellados, corresponden a "otros productos" (salsas, aceites, cosméticos), mismos que no entran al proceso de reciclaje	<ul style="list-style-type: none"> -Las industrias no se hacen cargo de los residuos que se generan a partir del consumo de sus productos 	

USO Y DESCARTE	Residuos de botellas PET de otros productos	El 100% de residuos de botellas PET de "otros productos" no se reciclan	-Falta de política pública que incluya dentro del IRBP a las botellas de otros productos.	- Impulsar programas de educación y concientización a la ciudadanía en temas de clasificación y separación en la fuente de residuos para que puedan ser aprovechados adecuadamente por los recicladores de base.
	Generación de residuos PET	Residuos de botellas PET de bebidas	-Inadecuada limpieza de botellas posterior al uso. -Falta de control de la normativa vigente en relación a la clasificación de residuos desde los generadores..	- Educar a las personas e incentivar una adecuada limpieza de residuos de botellas que corresponden a productos diferentes a bebidas, con el propósito de que desde la fuente mejore la calidad del residuo para que sea de interés para las empresas recicladoras. Plantear una modificación a la normativa que incluya a las botellas de "otros productos" dentro del IRBP, para que puedan ser recolectados por los recicladores de base. - Mejorar el control, y realizar seguimiento al cumplimiento de la normativa de gestión de residuos, mediante la creación de comités de control barriales conformado por recicladores de base, representantes barriales y técnicos de la empresa pública.
	Recolección	Residuos de botellas PET de bebidas	El 57,94% de residuos de botellas de bebidas no se reciclan	- Impulsar estrategias de canje de botellas PET, incluyendo por ejemplo, en el valor del producto un monto entre 0,05 y 0,10 ctv correspondiente al valor del envase y que se conviertan en un fondo común utilizado para ser devuelto a los consumidores una vez que entreguen las botellas limpias y aptas para reciclar. Rango considerado como factible de acuerdo al estudio llevado a cabo por Hachi y Rodríguez (2018), para la ciudad de Guayaquil. - Implementar sistemas de máquinas expendedoras de bebidas en universidades y restaurantes que permitan incorporar el uso de botellas reutilizables para reducir la generación de residuos de botellas de un solo uso.
	Comercialización a Intermediarios	Residuos de botellas PET de bebidas		- Impulsar la creación de normativas que ampare a los recicladores de base, teniendo en cuenta: la legalización de sus actividades, salarios justos, salud y seguridad ocupacional, facilidades para la formación de asociaciones y trato digno. - Crear políticas públicas y alianzas entre actores que garanticen una estandarización de precios de compra y venta por parte de intermediarios.
RECICLAJE	Residuos de botellas de bebidas	Únicamente el 16,28% del total de productos de rPET fabricados en el país corresponden a pellet de grado alimenticio para fabricar nuevas botellas	-Falta de incentivos para la producción de pellet de grado alimenticio que pueda utilizarse en la fabricación de nuevas botellas	- Crear incentivos económicos y otorgar facilidades a las empresas recicladoras para adquirir e implementar tecnologías para la elaboración de pellet de grado alimenticio apto para fabricar nuevas botellas. - Implementar modelos de trazabilidad de flujos de botellas PET, incluyendo a los recicladores de base como actor clave para identificar de dónde provienen las botellas que han sido recuperadas y los principales grupos generadores, de manera que puedan desarrollarse estrategias para incrementar la tasa de reciclaje de botellas PET y convertirlas en pellet de grado alimenticio.

6. DISCUSIÓN

El PET es uno de los materiales plásticos que por sus propiedades es ampliamente utilizado en diversas industrias a nivel mundial. En el Ecuador, su uso ha tomado fuerza con el pasar de los años; sin embargo, la información y datos sobre los procesos de la cadena de valor de las botellas PET en el contexto nacional es escasa y dispersa. Identificar los procesos, caminos, fuentes, destinos, cantidades de entradas, salidas, stocks y flujos en un tiempo y espacio determinado, contribuyen a tener una primera versión de la visión completa del sistema, conocer su funcionamiento actual, los flujos y puntos claves del mismo (Díaz & Silva, 2015). Visualizar el sistema a través de un flujo de materiales brinda una herramienta válida para tomar decisiones con respecto a mejoras en el sistema, estrategias para minimización de residuos y revalorización del producto (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, 2019), además permite reconocer actores clave, cómo éstos interactúan, se desenvuelven, y la importancia de la incorporación de grupos vulnerables y poco reconocidos en la gestión de este material dentro del sistema.

En el Ecuador el PET se utiliza para la elaboración de diferentes productos como fibras, láminas y envases; las botellas PET se encuentran dentro de esta última categoría y se destinan principalmente para el embotellado de bebidas, salsas, aceites y algunos cosméticos. Se identificó que dentro del país estas botellas atraviesan procesos como: Manufactura, Distribución y Comercialización, Embotellado, Uso y Descarte, Reciclaje, Comercialización de productos reciclados y Disposición Final. En el proceso de Manufactura de botellas PET en el país, existen aproximadamente 19 empresas, que utilizan en su mayoría materia prima virgen, misma que ingresa al país mediante importaciones debido a que es más económico que el rPET. Por otra parte, si bien existen bases de datos detalladas por años de las cantidades que ingresan a este proceso, éstas son poco fiables debido al registro inadecuado de partidas y subpartidas arancelarias relacionadas con la falta de estandarización de los nombres y descripción bajo los que se registran los materiales. Esto dificulta la identificación y contabilización total de las importaciones de materia prima que se destinan para la fabricación de botellas.

Dentro del mismo proceso de Manufactura ingresa material reciclado que se produce en el país, pero en una fracción minoritaria de 13,21 %. Son muy pocas las industrias

fabricantes de botellas de bebidas que usan en sus procesos material reciclado, a pesar de la existencia de una ley que establece que, todos los fabricantes de botellas deben incorporar un 25 % de PET reciclado de grado alimenticio en sus procesos (Ley orgánica para la racionalización, reutilización y reducción de plásticos de un solo uso, 2020). Una de las industrias que actualmente cumple con esto, es Arca Continental, la cual ocupa un porcentaje de 24,72 % de material reciclado en las botellas que ponen en el mercado (Arca Continental, 2019). El incumplimiento de esta normativa, puede deberse principalmente a la diferencia de casi 0,50 centavos de dólar entre materia prima virgen y material reciclado (ASEPLAS, 2021). A esto se suma la falta de control de la normativa y la escasa producción de rPET de grado alimenticio a nivel nacional, que no satisface la demanda de las industrias manufactureras que buscan incorporarlo en sus procesos productivos.

A las botellas fabricadas localmente que pasan a la Distribución y Comercialización, se suma la importación de “botellas vacías” correspondientes a 2 344,23 toneladas al año, que representa tan solo un 4,21 % de lo que entra para este proceso de Comercialización de botellas PET hacia las embotelladoras. Llama la atención que se opte por importar botellas vacías como un producto terminado, debido a que el volumen que ocupan es mucho mayor que importarlas como preforma, sin mencionar que existe producción local que es capaz de abastecer la demanda del mercado dentro del país, y que el transporte de este tipo de productos requiere especial cuidado, pues son susceptibles a daños por el movimiento que provoca el contacto de unas con otras (NOEGA Systems, 2018). Esta importación, puede deberse a que en algunos casos los costos asociados a la misma desde países como China, tienen aranceles bajos que lo hacen factible (ASEPLAS, 2021); en otros casos, esta importación puede deberse a que empresas multinacionales tienen sus centrales de producción en otros países y traen sus botellas desde éstas; en ambos casos esta importación afecta a la producción nacional, pues se consume menos botellas producidas localmente. Por esto, es importante que los actores nacionales se involucren en las negociaciones de Tratados de Libre Comercio (TLC), para velar la priorización del producto local o permitir la importación de botellas únicamente en el caso de cumplir con un alto porcentaje de PET reciclado.

Con respecto al proceso de Embotellado, el MFA mostró que los envases de botellas PET se destinan principalmente al embotellado de bebidas (85 %), y en segundo lugar al embotellado de otros productos (15 %) como salsas, aceites, y cosméticos. Es decir que

el flujo correspondiente a bebidas es uno de los principales y más destacables en cuanto a potencial de reciclaje se refiere, pues son estos tipos de envases los que se contemplan dentro del IRBP posterior al proceso de Uso y Descarte. Por otro lado, luego del uso, se contempla una salida de cerca de 317 millones de botellas, correspondientes a “otros productos” que no ingresan al proceso de Reciclaje pues contienen restos de productos que contaminan el material. Otra salida evidenciada corresponde a una fuga de 184 millones de botellas de bebidas que anualmente podrían aprovecharse, pero que no fueron recuperadas.

Que las botellas de “otros productos” no lleguen al proceso de Reciclaje, se da por causas como una inadecuada disposición de residuos, falta de conciencia y educación ambiental (Calle, 2016), e implica que, en el mejor de los casos, terminen en el relleno sanitario ocupando espacio sin ser aprovechados de ninguna forma. En otros casos, llegan a botaderos y compartimentos ambientales, lo que constituye un problema debido al largo tiempo de degradación de este tipo de material, que provoca que permanezcan por largos periodos en el lugar en el que se depositen, siendo potenciales contaminantes de suelos, y llegando a afectar los ecosistemas acuáticos. Una correcta separación en la fuente que seleccione y clasifique los residuos para facilitar el aprovechamiento posterior (Freiles, 2016), acompañada de una limpieza adecuada de envases, en especial de aquellas botellas de productos como salsas, aceites, condimentos y otros productos, resultan relevantes para que puedan incluirse dentro del IRBP contribuyendo a que se reduzca el flujo que actualmente no se aprovecha mediante Reciclaje.

Para comprender mejor los subprocesos ligados al Uso y Descarte como: Recolección, Preprocesamiento y Comercialización a Intermediarios, que a nivel nacional no se consideraron, se llevó a cabo el MFA específico de la fase de fin de vida de botellas PET tomando como caso de estudio el cantón Cuenca. Se identificó que los subprocesos que comprenden el fin de vida son: Generación, Recolección, Preprocesamiento y Comercialización.

En el proceso de Generación se identificó que los principales grupos generadores son: “Domicilios”, “Restaurantes” e “Instituciones Educativas”. Si bien los generadores se pueden categorizar en grupos más específicos, como es el caso de California en el que se realizó un estudio de caracterización de residuos en donde se establecieron 16 tipos de generadores diferentes (Cascadia Consulting Group, 2015); en el cantón Cuenca esto no es posible, debido a que no se cuenta con datos diferenciados por tipo de

generador pues la recolección unifica ciertos grupos como comercios, empresas y otras instituciones públicas y privadas en la categoría Domiciliaria, además, si existe información de recolección diferenciada desde generadores específicos esta no se encuentra caracterizada por tipo de material. Por esto, este estudio levantó datos para 3 tipos de generadores principales, lo que contribuye en gran medida a la diferenciación de flujos en la generación de residuos de botellas PET.

Son los generadores quienes se encargan de la separación en la fuente, y en Cuenca ésta continúa siendo deficiente a pesar de que la recolección diferenciada por tipo de residuos se ha implementado desde hace más de 20 años (Soliz, 2016). Cuenca representa una de las experiencias más completas en gestión de residuos a nivel nacional; sin embargo, la realidad refleja que solo el 53,37 % de los hogares, quienes son los principales generadores separan sus residuos, pero no lo hacen de una manera adecuada, ya que únicamente el 25 % del total que se separa en las fundas celestes es potencialmente reciclable (ECI, 2021). Esto a su vez, influye en el proceso de recolección, ya que el material que no se clasifica correctamente se mezcla con otro tipo de residuos con su consecuente contaminación. A pesar de la existencia de una ordenanza municipal que sanciona acciones como la inadecuada separación de residuos (Ordenanza para la Gestión y Manejo Externo de Desechos Sólidos, Infecciosos y Especiales Generados en el Cantón Cuenca, 2012), no existe un control del cumplimiento de la misma y tampoco hay incentivos que fomenten su gestión y el adecuado registro de estos datos.

Cuando los residuos son dispuestos para su recolección intervienen actores claves como los recicladores de base. En el proceso de Recolección en el sistema cantonal, se determinó que los recicladores en modalidad a pie de vereda, aportan con el 95,29 % en la recolección de residuos de botellas PET; estos resultados concuerdan con el alto porcentaje de incidencia de los recicladores de base a nivel nacional en el que se identificó que el sector informal aporta con aproximadamente el 95 % a la recolección de estos residuos. Si bien las industrias recicladoras en su mayoría adquieren material directamente de intermediarios o centros de acopio de menor escala, son los recicladores de base quienes recolectan el material directamente y se lo venden a éstos, por lo tanto, es a ellos a quienes se les debe atribuir este aporte en la cadena del reciclaje y aprovechamiento del PET.

Las personas que se dedican a la actividad de reciclaje se exponen durante sus jornadas laborales a peligros para su salud, accidentes laborales, situaciones de inseguridad e incluso al acoso sexual (ECI, 2021); sin embargo, a pesar de que se estima que el conjunto de recicladores a nivel nacional poseen una capacidad de recuperación de materiales reciclables de hasta 208 mil toneladas al año, lo que corresponde a un ahorro total a los municipios cantonales de hasta USD 12.5 millones de dólares en los próximos 20 años (Ministerio de producción, comercio exterior, inversiones y pesca, 2021; Soliz Torres et al., 2020), siguen siendo hasta la actualidad un grupo social poco valorado y no reconocido por su labor y aporte en las dimensiones económica y ambiental relacionadas a la gestión de residuos.

A la alta eficiencia de recolección de los residuos de botellas de bebidas, por parte de los recicladores de base, se le suma su eficiencia de aproximadamente el 100 % en las labores de Preprocesamiento, pues la recolección manual y adecuada limpieza que realizan estos actores, asegura que las botellas recolectadas se encuentren en condiciones aptas de ser vendidas en su totalidad a intermediarios. Esto demuestra la importancia de la incorporación de los recicladores de base como actores principales en la gestión de estos residuos, pues por un lado los recicladores aportan servicios a los gobiernos municipales al extender la vida útil de los rellenos sanitarios, realizan el servicio de recolección puerta a puerta incluso en sitios donde la empresa municipal no llega, y proporcionan beneficios ambientales y de salud pública (The Economist Intelligence Unit, 2017). Por otro lado, su reconocimiento como parte de la cadena de valor puede mejorar sus condiciones de trabajo e incentivar el desarrollo de políticas de apoyo que contemplen la legalización de sus actividades, incentiven la formación asociaciones y el reconocimiento remunerado por los beneficios económicos, sociales y ambientales de la labor del reciclaje (Tovar, 2018).

El proceso de Comercialización desde recicladores a intermediarios locales, es uno de los procesos con mayores vacíos de información que deja el sistema, pues no se encuentran registros ni bases de datos, y el hermetismo de la información por parte de estos actores sobre la compra, venta y precios de materiales es evidente. Oficialmente el SRI ha fijado el valor de 0,02 centavos por unidad de botella plástica devuelta, si tomamos el valor de conversión del SRI de 21 botellas por kilogramo, representaría 0,42 centavos por kilogramo que las recicladoras devuelven a los intermediarios; sin embargo, la falta de control de precios que además está sujeto a fluctuaciones internacionales, provoca que los recicladores de base, al estar al final de la cadena de

actores de gestión, reciban un valor menor a éste, que según datos de la encuesta SLCA varía entre los 0,30 a 0,35 centavos por kilogramo (ECI, 2021). Esta situación agrava la posición de los recicladores y sus familias, dejándolos a voluntad de los intermediarios; aun así, el PET es de los materiales con más altos precios de comercialización en el mercado en comparación con otros materiales reciclables, y su transporte es liviano, haciéndolo atractivo para los recicladores.

Por otro lado, dentro de sistema cantonal también se determinó que el 57,94 % (697,16 toneladas) del total de residuos de botellas de bebidas que ingresan al sistema cantonal, no son aprovechadas y se dirigen directamente a Disposición Final, que generalmente está relacionada con los rellenos sanitarios, botaderos o compartimentos ambientales, mismos que se enfrentan a problemas ambientales, económicos y sociales discutidos en párrafos anteriores.

Cuando se plantea un escenario alterno con un mayor número de recicladores de base, se evidencia que el flujo de recolección informal incrementa en un 70,18 % disminuyendo los residuos que llegan a Disposición Final en un 48,65 %. La necesidad de plantear un escenario alternativo surge de la consideración de los expertos de que el número de recicladores de base es una cifra debatible, pues no se cuenta con un registro oficial actualizado ni se ha implementado un mecanismo que permita registrarlos de manera adecuada, pero más allá de eso, con los resultados reflejados en este escenario con un mayor número de recicladores, se evidencia la relevancia de estos actores para el sistema de gestión, que incrementa considerablemente la eficiencia en la recolección de éstos y otros residuos reciclables.

Actualmente, debido al aumento en la generación de residuos y la demanda de plazas de empleo desencadenados por la crisis sanitaria del COVID-19, algunos expertos estiman que el número de recicladores ha ascendido a aproximadamente a 1 500; sin embargo, esta cantidad no necesariamente corresponde a personas que realizan el reciclaje de base como su actividad principal, sino pueden estar consideradas aquellas que lo hacen en determinadas ocasiones o esporádicamente como una fuente de ingresos extra. Contar con datos actualizados es importante pues permitiría disminuir el nivel de incertidumbre en estos flujos. Se debe priorizar armar una base de datos actualizada con todas las personas que se dedican a esta actividad, independientemente de si se encuentran anexados a una asociación o no.

El final del sistema cantonal se da con la comercialización de residuos de botellas PET desde intermediarios hacia las grandes recicladoras que en su mayoría se encuentran en Guayaquil, y reciben residuos de botellas PET de todo el país para producir flake y pellet. Se evidencia que, en el proceso de Reciclaje nacional, la producción de flake para exportación es cerca de 10 veces mayor que la de pellet; esto puede deberse a que el proceso productivo es menos complejo y más barato, pues no necesita del proceso de *extrusión* para pelletizar el material y aumentar su calidad (Torres, 2020). Si bien los pellets de grado alimenticio pueden ser utilizados más ampliamente, el mercado del flake también es importante especialmente en otros países como Estados Unidos, Brasil y Chile por su versatilidad para fabricar diferentes productos como láminas termoformables y fibras sintéticas.

Un flujo importante a considerar para mejorar el proceso de Reciclaje, es el de las etiquetas. En las entrevistas mantenidas con las empresas recicladoras, se destacó que en su composición se puede encontrar Policloruro de Vinilo (PVC), el cual es considerado un material contaminante. De acuerdo a la Asociación de Recicladores de Plásticos de Estados Unidos (APR), propiedades del PVC como su baja temperatura de fusión y su composición química, lo hacen incompatible con la mayoría de los otros polímeros. Aún al procesar cantidades pequeñas de PVC con otros polímeros, éste se degrada en ácido clorhídrico y cloro, volviendo inservibles grandes cantidades del polímero que se quiere procesar (APR, 2017). Además, la remoción de etiquetas y adhesivos representa un proceso adicional dentro de la cadena de reciclaje, por lo que pensar en estrategias de ecodiseño para envases sin etiquetas o que utilicen materiales no contaminantes es importante para dar solución a este problema (Amcor, 2022; Averi Dennison, 2020).

El Reciclaje es una de las alternativas más populares que existe actualmente en el país para el aprovechamiento de residuos plásticos como el PET; sin embargo, dentro de la jerarquización en la gestión de residuos, el reciclaje se encuentra entre las opciones con menor potencial de retención de valor (Pon, 2019). Por esto, plantear opciones como diseño ecoeficiente del producto, mecanismos de producción más limpia, Responsabilidad Extendida del Productor, reducción en el consumo, reúso, entre otras, son importantes para conseguir beneficios en ámbitos sociales, económicos y ambientales.

Cada vez es más evidente y necesario incentivar la gestión adecuada de los materiales y residuos, por esto, conocer los resultados presentados en los Análisis de Flujo de Materiales es importante, pues permite plantear estrategias sobre aspectos claves del sistema y favorece a la mejora en la eficiencia de los mismos, con miras hacia una economía circular.

7. CONCLUSIONES

- En el sistema nacional, se evidenció que el 86,79 % de material usado para elaborar botellas PET, corresponde a materia prima virgen, mientras que solo el 13,21 % restante, corresponde a PET reciclado, y son pocas las industrias que lo incorporan en sus procesos.
- La industria del embotellado de bebidas, corresponde al 85 % de todos los productos envasados en botellas PET a nivel nacional. El 15 % restante corresponde al embotellado de aceites, salsas, champús y cosméticos.
- A la Disposición Final Llegan, por un lado, 8 430,45 toneladas equivalentes a 320,36 millones de residuos de botellas que se ponen en el mercado para contener salsas, aceites o cosméticos, que no pueden ingresar al proceso de Reciclaje; y, por otro lado, 4 840,82 toneladas o 183,95 millones de residuos de botellas PET de bebidas que no fueron recolectadas. Todas estas botellas que no fueron recolectadas ni aprovechadas mediante el Reciclaje, terminan en este proceso que comprende rellenos sanitarios, botaderos o el medio ambiente sin tener ningún otro tipo de uso o aprovechamiento.
- En el Ecuador a partir del Reciclaje de botellas PET se producen dos tipos de productos: flake y pellet. Del total que se comercializa, tan solo el 16,28 % es pellet que reingresa para ser utilizado localmente para hacer nuevas botellas, el porcentaje restante es exportado o comercializado localmente para otros usos.
- En el MFA para el cantón Cuenca, se determinó que las Instituciones Educativas aportan con un 12,39 % a la generación de residuos de botellas PET de bebidas, los Restaurantes con el 17,95 %, y los generadores Domiciliarios con el 69,66 %. Este alto aporte domiciliario se debe a que no existe una recolección diferenciada, por lo que en este grupo se incluyen oficinas, comercios, tiendas, hoteles, industrias, farmacias, y otros.
- Los recicladores de base mediante la modalidad a pie de vereda, tienen el 95,32 % de participación en las labores de recolección de residuos de botellas PET en el cantón Cuenca, lo que evidencia la importancia de estos actores para

el aprovechamiento de materiales, que a su vez minimiza la contaminación asociada a una inadecuada disposición de residuos.

- En el cantón Cuenca, en 2019 un total de 697,16 toneladas de residuos de botellas PET de bebidas llegaron al proceso de Disposición Final, lo que representa que cerca del 57,94 % botellas consumidas no fueron recolectadas y se acumularon en algún compartimento ambiental, en el relleno sanitario, o están almacenadas en el lugar de consumo. Esta cifra disminuye notablemente en el escenario alterno.
- El 99 % (501,09 toneladas) de lo comercializado mediante intermediarios locales en el cantón Cuenca, es vendido a la ciudad de Guayaquil, mientras que el 1 % restante (5,06 toneladas) se envían a Quito, Cañar y Riobamba.
- En el escenario alternativo, incrementando el número de recicladores, se evidenció una disminución del 48,65 % en la cantidad de botellas que llegan al proceso de Disposición Final. Esto quiere decir que el número de recicladores que participan en la recolección juega un papel crucial dentro de la gestión de residuos de botellas PET, e incluso de otros materiales.
- El principal inconveniente detectado en la realización de MFA fue la poca disponibilidad de datos, que provocó que esta metodología requiera mayor tiempo de ejecución, incremente la dificultad de obtención de los mismos y aumente la incertidumbre en los resultados. A pesar de esto, los diagramas finales reflejan de manera exitosa el funcionamiento de los sistemas, los procesos y flujos implicados, y muestra los puntos claves a partir de los cuales se pudo plantear propuestas a ser implementadas para mejorar la gestión del PET en el contexto local.

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda emplear este estudio como base para futuras investigaciones de Análisis de Ciclo de Vida con el propósito de evaluar los impactos ambientales asociados al sistema de gestión de residuos de botellas PET en el cantón Cuenca y a la gestión de botellas PET en Ecuador.
- Para futuras investigaciones, se recomienda fortalecer las estrategias de acercamiento con los actores relevantes de la cadena de valor del plástico, que puedan complementar la información que no se pudo obtener de primera mano en este estudio. En el caso del sistema nacional con industrias embotelladoras y en el caso del sistema cantonal con los intermediarios.

- El levantamiento de información para la construcción de un MFA sea de bienes o sustancias debería realizarse con una herramienta o metodología propia en futuras investigaciones, teniendo en cuenta las dificultades que se presentaron a lo largo de la realización de este estudio.
- Se debería trabajar con la mayor cantidad posible de empresas involucradas en la cadena de valor del PET pues esto permitirá mejorar la calidad de datos, aumentar la representatividad y disminuir las incertidumbres.
- Se recomienda para estudios posteriores plantear una diferenciación de los distintos escenarios de Disposición Final como los flujos que llegan a medio ambiente, botaderos a cielo abierto, relleno sanitario o lo que no se recolecta.
- Impulsar estudios de caracterización in situ de los principales generadores de residuos que diferencie los principales materiales con alto potencial aprovechable, de manera que se pueda contar con bases de datos actualizadas.
- Se debe trabajar en implementar una base de datos para el registro adecuado de los recicladores de base independientemente de si se encuentran o no anexados a una asociación.
- Realizar una triangulación de datos referentes a los datos de importación de materiales y productos debido a que el registro de nombres y descripciones de partidas arancelarias no están unificadas lo que dificulta que los montos puedan ser correctamente contabilizados.
- Se debería exhortar a las autoridades a trabajar en la implementación de políticas públicas que regulen los procesos productivos de materiales con potencial reciclable, la separación en la fuente, y los precios asociados a la compra y venta de material reciclado desde los diferentes actores de la cadena de valor.
- Promover e incentivar a las instituciones y empresas a establecer mecanismos para el registro de su información de manera sistematizada, priorizando el desarrollo de bases de datos actualizadas, colaborativas e integrales desde los diferentes actores del sistema.

9. REFERENCIAS

- Acuerdo Ministerial 120, 2017. Normativa Para Uso De rPET en la Fabricación de Botellas Plásticas. (Ecuador, Quito. Registro Oficial Segundo Suplemento Nro. 075 del 8 de septiembre de 2017)
- Alvarado, A. J., Torres, J. A., & Valle, A. W. (2021). Prototipo de bloque con base en materiales reciclados para el desarrollo de la construcción sostenible. *Dominio de las Ciencias*, 7(3), 291-303.: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i3.1918>
- Ambar Plus. (2019). El Plástico en el Medio Ambiente: Contaminación y Reciclaje. Retrieved from <https://ambarplus.com/plastico-medio-ambiente/>
- Amcor. (2022). Botellas 100% recicladas. Retrieved from <https://www.prnewswire.com/news-releases/revolucionaria-botella-de-agua-sin-etiqueta-villavicencio-de-amcor-y-danone-reduce-huella-de-carbono-en-un-21--851392918.htm>
- Averi Dennison. (2020). Soluciones de etiquetado sostenibles.
- Arca Continental (2020) Reporte Anual Integrado, Retrieved from <https://www.arcacontal.com/media/367519/reporteannualintegrado2019espan.pdf>
- Association of Plastics Manufacturers. (2018). *Plastics – the Facts. Plastics Europe*, 38.
- Azoulay, D. (2019). *El plástico y la salud. Ciel*. Retrieved from <https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2019/02/Plastic-and-Health-The-Hidden-Costs-of-a-Plastic-Planet-February-2019.pdf>
- Banco Mundial. (2018). *Los desechos: un análisis actualizado del futuro*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>
- Bao, Z., Zhang, S., Chen, Y., Liu, S., Zhang, Y., & Wang, H. (2010). A review of material flow analysis. 2010 International Conference on Management and Service Science, MASS 2010, (October). <https://doi.org/10.1109/ICMSS.2010.5577113>
- Barabino, N. (2014). La importancia de la recolección informal de residuos urbanos reciclables: análisis de los aspectos sociales, ambientales y económicos. La situación en la ciudad de Mar del Plata.
- Barriga, A., & Calderon, A. (2020). Desarrollo De Una Alternativa Para El Manejo De Residuos Sólidos Aprovechables En Los Restaurantes Del Gad Nayón (Vol. 1). Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20955/1/CD10477.pdf>
- Barrios, E. A. (2017). *Ciclo de Vida de un Producto y sus estrategias relacionadas*. Retrieved from www.unpa.edu.ar

- Bartolomé, M. (2018). Construcción low cost. Reciclado de botellas Pet para su aplicación en el campo de la construcción y las instalaciones.
- Bellis, M. (2020). *ThoughtCo*. Obtenido de A Brief History of the Invention of Plastics: <https://www.thoughtco.com/history-of-plastics-1992322>
- Benítez, A. C., & Gárate, M. P. (2020). Plan de marketing social para las universidades de la ciudad de Cuenca para el año 2020: objetos plásticos de un solo uso.
- Bermeo-Paucar, J., Rea-Sánchez, V., López-Bermúdez, R., & Pico-Yépez, M. (2018). EL RECICLAJE LA INDUSTRIA DEL FUTURO EN ECUADOR. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 22(87), 8-8.
- Barnes, S. J. (2019). Understanding plastics pollution: The role of economic development and technological research. *Environmental Pollution*, 249, 812-821. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.108>
- Billmeyer, F. (1975). *Ciencia de los polímeros*. Barcelona: Reverte.
- Botero, E., Muñoz, L., Ossa, A., & Romo, M. P. (2014). Comportamiento mecánico del polietileno tereftalato (PET) y sus aplicaciones geotécnicas. *Revista Facultad de Ingeniería*, (70), 207–219.
- Brouwer, MT, Thoden van Velzen, UE, Ragaert, K. y ten Klooster, R. (2020). Límites Técnicos en Circularidad para Envases de Plástico. *Sostenibilidad*, 12 (23), 10021. MDPI AG. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.3390/su122310021>
- Brunner, P. H., & Rechberger, H. (2017). *HANDBOOK OF MATERIAL FLOW ANALYSIS* (second). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/312121144_Handbook_of_Material_Flow_Analysis_For_Environmental_Resource_and_Waste_Engineers
- Burneo, D., Cansino, J. M., & Yñiguez, R. (2020). Environmental and socioeconomic impacts of urban waste recycling as part of circular economy. The case of cuenca (Ecuador). *Sustainability (Switzerland)*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/SU12083406>
- Cajamarca, E., Bueno, W., & Jimbo, J. S. (2019). De cero a dinero: La basura como fuente principal para un negocio inclusivo de reciclaje en Cuenca (Ecuador). *Retos*, (15), 71–87. <https://doi.org/10.17163/ret.n15.2018.05>
- Calle Aguilar, I. (2016). Reciclaje y conciencia ambiental en el mejoramiento de la sostenibilidad del planeta. UCV - HACER: Revista de Investigación y Cultura, 5(1), 34–43.
- Campo, C. (2021). *Análisis de las medidas tributarias y su incidencia en la industria del plástico en la provincia del Guayas* (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil: Facultad de Ciencias Administrativas).
- Cascadia Consulting Group. (2015). 2014 Generator-Based Characterization of Commercial Sector Disposal and Diversion in California. 372.
- Cecchin, A. (2017). Análisis de flujo de material para una gestión sostenible de los

recursos en los ecosistemas insulares: un estudio de caso en la Isla Santa Cruz (Galápagos). *Revista de planificación y gestión ambiental*, 60, 1640-1659. doi: 10.1080 / 09640568.2016.1246997

Chae, Y., & An, Y.-J. (2018). Current research trends on plastic pollution and ecological impacts on the soil ecosystem: A review. *Environmental Pollution*, 240, 387-395. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.008>

Chertow, M., Ashton, W., & Espinosa, J. (2008). Industrial Symbiosis in Puerto Rico: Environmentally Related Agglomeration Economies [Text]. <https://doi.org/info:doi/10.1080/00343400701874123>

Chiluisa, C. (2020). Implementación De Un Sistema Automatizado Con Control Hmi-Scada Para El Proceso De Embotellado De Líquidos.

Choudhary, K., Sangwan, K. S., & Goyal, D. (2019). Environment and economic impacts assessment of PET waste recycling with conventional and renewable sources of energy. *Procedia CIRP*, 80, 422-427. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.01.096>

Citi GPS. (2018). Rethinking Single-Use Plastics Responding to a Sea Change in Consumer Behavior. (August), 1–64. Retrieved from www.citi.com/citigps.

Clavijo, C. E., & Fárez, P. V. (2018). *Análisis de la logística inversa aplicado al sector de plástico, en el cantón Cuenca*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30758>

Cobos, M., & Lazo, J. (2020). *Campaña social de concientización e información basada la ordenanza de regulación de plásticos de un solo uso* (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).

Código Orgánico del Ambiente (COA). (Ecuador, Quito. Publicada en Registro Oficial Suplemento 983 el 12 de abril de 2017)

Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD). (Ecuador, Quito. Sector Público Gubernamental, 2014)

Coe, J. M., Antonelis, G. "Bud," & Moy, K. (2019). Taking control of persistent solid waste pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 139(July 2018), 105–110. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.12.004>

Constitución de la República del Ecuador (CRE). (Ecuador, Quito. Publicada en el Registro Oficial No. 449, 20 de octubre de 2008)

Cornejo, M. A. (2017). Diseño de información como método para generar conciencia ambiental respecto a la alteración de la fauna marina debido a la contaminación por residuos plásticos en las playas de Lima Metropolitana, dirigido a amas de casa pertenecientes al distrito de Surquillo.

Coyago, E., & Heredia, E. (2017). Recomendaciones para la caracterización y cuantificación de residuos sólidos universitarios. Caso de estudio: Universidad Politécnica Salesiana, campus sur, Quito.

- Cózar, A., Martí, E., Duarte, CM, García-de-Lomas, J., Van Sebille, E., Ballatore, TJ, ... & Troublè, R. (2017). El Océano Ártico como un callejón sin salida para los plásticos flotantes en la rama del Atlántico Norte de la circulación termohalina. *Avances científicos*, 3 (4), e1600582
- Ecoembes. (2018). *Plásticos de un solo uso*. Obtenido de <https://economiecirculardverde.com/plasticos-un-solo-uso/#comment-344>
- ELTIEMPO. (2019). «Reciclaje y el manejo sostenible de materiales». *EL TIEMPO*. Recuperado 3 de junio de 2020 (<http://tinyurl.com/yynyltak>).
- EMAC. (2020). Caracterización de residuos reciclables provenientes de la funda celeste
- EMAC. (2020). Información reciclaje 2019.
- DataSur. (2019). Reporte anual de importaciones y exportaciones de materias primas. Retrieved from <https://www.datasur.com/servicios/online/>
- Díaz Gómez, J., & Silva Leal, J. (2015). Análisis de flujo de materiales en sistemas humanos: Una revisión. *Revista EIA*, (23), 149-161.
- Díaz, R., Velarde, G., & Lino, G. (2020). ANÁLISIS DE FLUJO DE MATERIALES DE PLÁSTICOS PARA LA PRODUCCIÓN, CONSUMO Y COMERCIO DE ENVASES RÍGIDOS DEL POLIETILENO DE TEREFTALATO (PET) EN PERÚ DURANTE 2018. *La Saeta Universitaria Académica y de Investigación*, 9(2), 15-38.
- ECI. 2021. Guía del Análisis de Ciclo de vida Social del Sistema de Reciclaje de Cuenca, Universidad de Cuenca.
- ECOCE, A. C., & Recyclers, T. A. of P. (2017). Guía de diseño para reciclabilidad 2017. 24.
- EMAC EP. (2019). Cuenca Residuos Sólidos. Retrieved from <http://www.emac.gob.ec/?q=content/cuenca-pionera-en-coprocesamiento-de-residuos-sólidos>
- EMAC. (2020). *Rendición de cuentas 2019*. Retrieved from <https://emac.gob.ec/rendicion-de-cuentas-2019/>
- Ensinck, M. (2021). Plásticos: del problema a la solución. Retrieved from <https://latinclima.org/plasticos-del-problema-la-solucion>
- Eriksen, M., Pivnenko, K., Faraca, G., Boldrin, A., & Astrup, T. (2020). Dynamic material flow analysis of PET, PE, and PP flows in Europe: evaluation of the potential for circular economy. *Environmental science & technology*, 54(24), 16166-16175.
- Espinosa-Guzmán, F. A. (2016). Caracterización de botellas PET para su uso como elementos constructivos de muros de carga.
- Euromonitor International. (2020). Global Packaging Trends Report 2019. Retrieved

from <https://www.pmmi.org/report/global-packaging-trends-report-2019>

- Fiallo, R. C. (2020). Análisis de la generación per cápita y composición gravimétrica de residuos sólidos procedentes de diferentes fuentes de la ciudad de Cuenca (tesis de pregrado). 59.
- Fink, A. (2014). *Conducting Reserch Literature Reviews*. Los Angeles: SAGE.
- Freiles Ariza, N. S. (2016). Manejo y separación de residuos sólidos urbanos. Análisis comparativo entre Madrid (España) y el distrito especial industrial y portuario de Barranquillas (Colombia). *Observatorio Medioambiental*, 19, 197–211. <https://doi.org/10.5209/obmd.54168>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), 25–29. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Giacovelli, C. (2019). Plásticos De Un Solo Uso. In *Technology for Enviroment* (Vol. 227). <https://doi.org/10.1038/s41415-019-0765-x>
- Giljum, S. (2004). Trade, Materials Flows, and Economic Development in the South: The Example of Chile. *Journal of Industrial Ecology*, 8(1-2), 241-261. <https://doi.org/10.1162/1088198041269418>
- Gomez, G. (2016). *Diagnóstico del impacto del plastico (botellas) sobre el medio ambiente: Un estado del arte*. Universidad Santo Tomas, 81.
- González, R. (2016). *Cradle to Cradle Re-diseño y Re-evolución*. 52. Retrieved from http://oa.upm.es/48845/1/TFG_Raquel_Gonzalez_Martin.pdf
- Goodman, S., & Dodiuk, H. (2014). Handbook of thermoset plastics. (S. D. Andrew, Ed.) Obtenido de <https://www.worldcat.org/title/handbook-of-thermoset-plastics/oclc/864742805>
- Górgora, J. P. (2014). *La industria del plástico en México y el mundo*. 64(5), 7.
- Hachi Quintana, J. G., & Rodríguez Mejía, J. D. (2018). Estudio de Factibilidad para reciclar envases plásticos de Polietileno Tereftalato(PET), en la Ciudad de Guayaquil. Universidad Politecnica Salesiana, 237.
- Haupt, M., Kägi, T., & Hellweg, S. (2018). Modular life cycle assessment of municipal solid waste management. *Waste Management*, 79, 815-827. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.03.035>
- Hundertmark, T., Prieto, M., Ryba, A., Simons, TJ y Wallach, J. (2019). Acelerar la recuperación de plástico en los Estados Unidos. *McKinsey Co. Química*.
- Hungría Sánchez, T. E. (2015). *El reciclaje en Ecuador: su aporte como fuente alternativa en generación de ingresos e insumos en la economía ecuatoriana y empresas dirigidas al reciclaje, caso cantón Daule. Período 2010-2014* (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Económicas).

- Iberdrola. (2019). Microplásticos. ¿Cómo nos afectan los microplásticos? Obtenido de <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/microplasticos-amenaza-para-la-salud>.
- Innovations, N., CSIR-NCL, & PUNE. (2017). Pet Recycling In India: Mapping The Recycling Landscape. India. Obtenido de http://www.in-beverage.org/lca-pet/NCL%20Report_Indian%20PET%20Recycling%20Landscape__Final_Ver%2003_December%202017.pdf
- Iniciativa Regional para el Reciclaje Inclusivo. (2014). Reciclaje Inclusivo y Recicladores base en el Ecuador. Quito, Ecuador: Recicla. Obtenido de <http://reciclajeinclusivo.org/wp-content/uploads/2016/04/Reciclaje-Inclusivo-y-Recicladores-de-base-en-EC.pdf>
- INEC. (2017). Proyecciones poblacionales. Retrieved from <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>
- INEC. (2019). Información ambiental en hogares. Retrieved from https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Hogares/Hogares%202019/MOD_AMB_HOGAR_ESPND_2019_11.pdf
- Iñiguez, K. (2019). *Propuesta de implementación de una cultura de reciclaje como parte de la responsabilidad social en los estudiantes de la Universidad del Azuay* (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- Islam, M. T., & Huda, N. (2019). Material flow analysis (MFA) as a strategic tool in E-waste management: Applications, trends and future directions. *Journal of Environmental Management*, 244(February), 344–361. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.062>
- Jaén, M., Esteve, P., & Banos-González, I. (2019). Los futuros maestros ante el problema de la contaminación de los mares por plásticos y el consumo. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1501-1501.
- Jimenez, I. (2005). *Plásticos*. Obtenido de Corrosión de Plástico: <http://www.plastico.com/temas/Corrosion-en-plasticos+3038734>
- 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*. The World Bank.
- Krausmann, F., Richter, R., & Eisenmenger, N. (2014). Resource Use in Small Island States. *Journal of Industrial Ecology*, 18(2), 294-305. <https://doi.org/10.1111/jiec.12100>
- Kuczynski, B., & Geyer, R. (2010). Material flow analysis of polyethylene terephthalate in the US, 1996–2007. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1161-1169. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.03.013>
- Ley Orgánica para la Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de un Solo Uso. (Ecuador, Quito. Registro Oficial Cuarto Suplemento Nro. 488 de 6 de julio de 2021).
- Logroño, P. (2018). *Análisis de la aplicación del impuesto redimible a las botellas*

plásticas no retornables como un instrumento para reducir la contaminación ambiental en Ecuador. Periodo 2012 – 2016. 93.

- Martin, E., Oliveira, D., Oliveira, L., & Bezerra, B. S. (2020). Dataset for life cycle assessment of pet bottle waste management options in Bauru, Brazil. *Data in brief*, 33, 106355. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106355>
- Martinez U., & Ulagares, M. (2019). ¿Por qué no se reciclan más plásticos? Una cuestión de rentabilidad. *TheAcademicConversation*. Obtenido de <https://theconversation.com/por-que-no-se-reciclan-mas-plasticos-una-cuestion-de-rentabilidad-119179>
- Mecasinc. (2017). Mecanizar plásticos y metales: principales diferencias. Obtenido de <https://www.mecanizadossinc.com/mecanizar-plasticos-y-metales-diferencias/>
- Makarichi, L., Techato, K. anan, & Jutidamrongphan, W. (2018). Material flow analysis as a support tool for multi-criteria analysis in solid waste management decision-making. *Resources, Conservation and Recycling*, 139(March), 351–365. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.07.024>
- Mansilla, L., & Ruiz, M. (2009). Reciclaje de botellas de PET para obtener fibra de poliéster. *Ingeniería industrial*, (027), 123-137. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2009.n027.627>
- Marathe, K. V., Chavan, K. R., & Nakhate, P. (2019). 8 - Life Cycle Assessment (LCA) of PET Bottles. En S. Thomas, A. Rane, K. Kanny, A. V.k., & M. G. Thomas (Eds.), *Recycling of Polyethylene Terephthalate Bottles* (pp. 149-168). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811361-5.00008-0>
- Méndez-Bautista, M. T., & Coreño-Alonso, J. Relación estructura-propiedades de polímeros. *Educación Química*, 21(4), 291-299.
- Millette, S., Williams, E., & Hull, C. E. (2019). Materials flow analysis in support of circular economy development: Plastics in Trinidad and Tobago. *Resources, Conservation and Recycling*, 150, 104436. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104436>
- Millward-Hopkins, J., Busch, J., Purnell, P., Zwirner, O., Velis, C. A., Brown, A., ... Iacovidou, E. (2018). Fully integrated modelling for sustainability assessment of resource recovery from waste. *Science of the Total Environment*, 612, 613–624. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.211>
- Ministerio de Educación. (2020). Educación general básica. Retrieved from https://educacion.gob.ec/educacion_general_basica/
- Ministerio de Turismo. (2020). Catastro 2020, restaurantes de la provincia del Azuay.
- MPCEIP & GIZ. (2021) Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador. Quito, Ecuador.
- Muñoz, S. (2019). *Arquitectura a la deriva: Reciclado de los plásticos del océano* (Universidad Politécnica de Madrid). Retrieved from http://oa.upm.es/53980/1/TFG_Munoz_de_Solano_Sanchez_Sandra.pdf

- Mutha, N. H., Patel, M., & Premnath, V. (2006). Plastics materials flow analysis for India. *Resources, Conservation and Recycling*, 47(3), 222-244. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.09.003>
- NACIONES UNIDAS (2015): Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015. A/RES/70/1, 21 de octubre
- Naciones Unidas. (2018). Día mundial del medio ambiente. Obtenido de Naciones Unidas: <http://www.un.org/es/events/environmentday/>
- Naciones Unidas. (2019). *Población*. Obtenido de <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/population>
- Nace, T. (2017). We're Now At A Million Plastic Bottles Per Minute - 91% Of Which Are Not Recycled. *Forbes*. Recuperado a partir de <https://www.forbes.com/sites/trevornace/2017/07/26/million-plastic-bottles-minute91-not-recycled/#1620b7da292c>
- National Geographic. (2019). Ecodiseño: los envases del futuro. Retrieved from https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/ecodisenio-envases-futuro_15100
- NOEGA Systems. (2018). Envases y embalajes para la protección física de la mercancía. Retrieved from <https://www.noegasystems.com/blog/logistica/envases-y-embalajes-para-la-proteccion-fisica-de-la-mercancia>
- Normas Para La Devolución Del Impuesto Redimible a Las Botellas Plásticas No Retornables (IRBP). (Ecuador, Quito. Registro Oficial Nro. 123 del 20 noviembre del 2017)
- Norton M. (2020). Tackling the Challenge of Packaging Plastic in the Environment. *Chemistry (Weinheim an der Bergstrasse, Germany)*, 26(35), 7737–7739. <https://doi.org/10.1002/chem.202001890>
- ONU Medio Ambiente (2018). Plásticos De Un Solo Uso: Una hoja de ruta para la sostenibilidad. <https://doi.org/10.1038/s41415-019-0765-x>
- Ordenanza para la Gestión y Manejo Externo de Desechos Sólidos, Infecciosos y Especiales Generados en el Cantón Cuenca (Ecuador: Cuenca. Emitido por: El Ilustre Concejo Cantonal del Cantón Cuenca, 2012).
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, ONUDI. (2019). Análisis de Flujo de Materiales. In *Manual de Producción Más Limpia* (pp. 99–115).
- Owens, E. L., Zhang, Q., & Mihelcic, J. R. (2011). Material flow analysis applied to household solid waste and marine litter on a small island developing state. *Journal of Environmental Engineering*, 137(10), 937–944. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000399](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000399)
- Paz, M. (2016). *Reciclado de PET a partir de botellas post consumo* (Bachelor's thesis,

Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Escuela de Ingeniería Industrial).

- Pérez, C. A. (2020). Comunidades sostenibles: construcción de canales de recolección de agua lluvia con material PET. *Centro Sur*, 4(1).
- Pilco, G. A., Mancheno, M. J., & Quisimalín, M. (2020). <http://dx.doi.org/10.35381/r.k.v5i9.653>. V, 337–365.
- Pinos, J., Ventosa, I. P., Banegas, F., Quezada, F., Delgado, G., Orellana, N., ... & Chacón, G. (2018). Instrumentos económicos para la gestión de residuos de envases en Ecuador. *Ciencia Digital*, 2(2), 123-143.
- PlasticsEurope. (2020). «Cómo se fabrica el plástico : PlasticsEurope». Recuperado 22 de junio de 2020 (<https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/how-plastics-are-made>).
- Plastics Industry Association. (2017). *History of Plastics*. Obtenido de <https://www.plasticsindustry.org/history-plastics>
- Plastigaur. (2018). 10 verdades sobre los plásticos. Madrid. Obtenido de <https://www.plastigaur.com/10-verdades-sobre-los-plasticos/>
- Plastisax. (2016). *Biodegradabilidad del Plástico*. Obtenido de ¿Por qué no es biodegradable?: <https://plastisax.com/por-que-el-plastico-no-es-biodegradable/>
- Pon, J. (2019). Instrumentos para la implementación efectiva y coherente de la dimensión ambiental de la agenda de desarrollo. Caso 4 Residuos. Comisión Económica Para América Latina y El Caribe, 102. Retrieved from https://www.cepal.org/sites/default/files/presentations/gestion_de_residuos_-_jordi_pon.pdf
- PopulationCity. (2020). *Población Mundial*. Obtenido de <http://poblacion.population.city/world/>
- Posada Bustamante, B. (2012). La degradación de los plásticos. *Revista Universidad EAFIT*, 30(94), 67–86. Recuperado a partir de <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1408>
- ProEcuador. (2020). Partidas arancelarias de importaciones y exportaciones 2019. Retrieved from <https://www.proecuador.gob.ec/monitoreo-de-exportaciones/>
- Pulecio León, G. (2019). Estudio de factibilidad de la producción de filamento para la impresión 3D, a partir de botellas (PET) recicladas en Uniempresarial.
- Red Latinoamericana de Recicladores. (2017). *Análisis de políticas públicas para el reciclaje inclusivo en América Latina*. 73. Retrieved from http://www.redrecicladores.net/wp-content/uploads/2017/04/170331_APP_ReciclajeInclusivoLA-6.pdf
- Rieznik, N., & Hernández, A. (2005). Análisis de Ciclo de Vida. Retrieved from <http://habitat.aq.upm.es/temas/a-analisis-ciclo-vida.html>

- Rigamonti, L., Grosso, M., Møller, J., Martinez Sanchez, V., Magnani, S., & Christensen, T. H. (2014). Environmental evaluation of plastic waste management scenarios. *Resources, Conservation and Recycling*, 85, 42-53. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.12.012>
- Rivadeneira, R. (2021). Incidencia de la pandemia provocada por el Covid 19 en las exportaciones no petroleras en Ecuador.
- Robles Garrote, P. y Rojas, M. D. C. (2015). La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en Lingüística aplicada. *Revista Nebrija de Lingüística Aplicada* (2015) 18.
- Rodríguez, L., Chávez, M., Lartategui, F., & Letona, A. (2017). Factibilidad de uso del PET reciclado en elementos de cubiertas y envoltentes. *Revista Ingeniería*, 27(2), 40. <https://doi.org/10.15517/ri.v27i2.27076>
- Rodríguez Bravo, M. I., & Zambrano Moreira, G. G. (2018). *Invernadero ecológico a base de residuos plásticos (botellas pet) en el vivero de la ESPAM MFL* (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL).
- Rojo-Nieto, E., & Montoto Martínez, T. (2017). Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global.
- Romero Moreira, R. M. (2017). Análisis económico del reciclaje y el cuidado del medio ambiente en el Ecuador. In *Tesis*. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.90.4.644>
- Ruiz, D., López, C., Cortes, E., & Froese, A. (2012). Nuevas alternativas en la construcción: botellas PET con relleno de tierra. *Apuntes: Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural-Journal of Cultural Heritage Studies*, 25(2), 292-303.
- Salamone, M. J. (2019). Diagnóstico del reciclaje de la botella PET en Argentina: estrategias en empresas de consumo masivo de bebidas sin alcohol para la gestión de envases PET post consumo.
- Sánchez, C. E., Peña, G. J., & Rico, L. F. (2018). Identificación de los usos actuales del tereftalato de polietileno (PET) reciclado en la Ingeniería Civil.
- Sanmartín, G., Zhigue, R., Alaña, T. (2017). El reciclaje: un nicho de innovación y emprendimiento con enfoque ambientalista. *Revista Universidad y Sociedad*, 9(1), 36-40.
- Science History Institute. (2014). *History and Future of Plastics*. Obtenido de <https://www.sciencehistory.org/the-history-and-future-of-plastics>
- Science History Institute. (2017). Leo Hendrik Baekeland | Science History Institute. Retrieved May 17, 2019, from <https://www.sciencehistory.org/historical-profile/leo-hendrik-baekeland>
- SENPLADES. (2014). Ficha de cifras generales cantón Cuenca-Ecuador. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. Retrieved from http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal SNI 2014/FICHAS F/0101_CUENCA_AZUAY.pdf
- SEO, & Ecoembes. (2019). *Impacto del abandono del plástico en la naturaleza*. 24.

Retrieved from https://proyectolibera.org/wp-content/uploads/2019/03/Impacto-de-los-plásticos-abandonados_LIBERA-def-1.pdf

- Shen, L., Nieuwlaar, E., Worrell, E. y Patel, MK (2011). Energía del ciclo de vida y emisiones de GEI del reciclaje de PET: efectos orientados al cambio. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16 , 522-536.
- Sisalima Andrade, D. V., & Sinchi Guzhñay, X. A. (2016). *La importancia del reciclaje en la ciudad de cuenca y las oportunidades de inclusión en el contexto del plan nacional del buen vivir y la matriz productiva* (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- Solíz, M. (2015). Ecología política y geografía crítica de la basura en el Ecuador. *Letras Verdes*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.17141/letrasverdes.17.2015.1259>
- Soliz, M. (2016). *Salud colectiva y ecología política: La basura en Ecuador*. Quito: Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador; La Tierra.
- Solíz Torres, M.F., Durango Cordero, J.S., Solano Peláez, J.L., Yépez Fuentes, M.A., 2020. Cartografía de los residuos sólidos en Ecuador 2020 – Alianza Basura Cero Ecuador.
URL <http://www.alianzabasuraceroecuador.com/cartografia-de-los-residuos-solidos-en-ecuador-2020/> (accessed 12.22.20).
- SOREMA. (2016). rPET flakes for bottle-to-bottle (B2B) Application. Retrieved from http://sorema.it/en_US/applications/pet-bottles/rpet-flakes-for-bottle-to-bottle/
- SRI. (2021). *Reporte del Impuesto Redimible a las Botellas Plásticas 2019*, cantón Cuenca. Cuenca.
- Statista. (2018). *Distribution of polyethylene terephthalate (PET) worldwide in 2016, by use*. Obtenido de <https://www.statista.com/statistics/858624/global-polyethylene-terephthalate-consumption-distribution-by-end-use/>
- Statista. (2020). *Key information of plastic production and waste globally between 1950 and 2017*. Obtenido de <https://www.statista.com/statistics/728466/plastic-production-and-waste-worldwide-2017/>
- Statista. (2021). Producción de plástico a nivel mundial. Retrieved from <https://es.statista.com/estadisticas/636183/produccion-mundial-de-plastico/>
- Suasnavas, D. F. (2017). *Degradación de materiales plásticos “PET”(polyethylene terephthalate), como alternativa para su gestión* (Bachelor's thesis, PUCE).
- Suárez, M., & Quiroga, G. (2017). *Diseño de una red de valor inversa para cerrar el ciclo de vida de los envases en Tereftalato de polietileno PET en la ciudad de Bogotá-Colombia* (Master's thesis, Universidad Piloto de Colombia).
- Sucozhañay, G., & Vidal, I. (2019). *Análisis del flujo de materiales y evaluación del impacto ambiental de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Caso de estudio: teléfonos celulares en el cantón Cuenca*. Universidad de Cuenca.

- TercerSector. (septiembre de 2019). Mitos y realidades: el reciclaje de PET en la economía circular. México. Obtenido de <http://3ersector.mx/index.php/noticias-2018/19-sostenibilidad/6429-mitos-y-realidades-el-reciclaje-de-pet-en-la-economia-circular>
- The Economist Intelligence Unit [EIU]. (2017). *Avances y Desafíos para el Reciclaje Inclusivo*. 111. Retrieved from https://reciclajeinclusivo.org/wp-content/uploads/2017/05/EIU_Inclusive-Recycling_report-SPANISH.pdf
- Toro, R., Szantó, M., Pacheco, J., Contreras, E., & Gálvez, A. (2016). Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios. *Manuales de La CEPAL*, 209.
- United Nations Environment Programme (2020). Single-use plastic bottles and their alternatives. Recommendations from Life Cycle Assessments.
- Universidad de Cuenca. (2019). Rendición de cuentas, año 2019. Retrieved from <https://www.ucuenca.edu.ec/2019>
- Valores de conversión del número de botellas plásticas no retornables, recuperadas o recolectadas, a su equivalente en kilogramos, para la declaración del Impuesto Redimible a las Botellas Plásticas No Retornables (IRBP). (Ecuador, emitida por el Servicio de Rentas Internas. Suplemento al Registro Oficial Nro. 396 del 28 de diciembre del 2018). Obtenido de: https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_acuerdo-no-17120-expedir-normativa-para-uso-RPET-fabricaci%C3%B3n-botellas-pl%C3%A1sticas-para-bebidas.pdf
- Van Eygen, E., Feketitsch, J., Laner, D., Rechberger, H., & Fellner, J. (2017). Comprehensive analysis and quantification of national plastic flows: The case of Austria. *Resources, Conservation and Recycling*, 117, 183–194. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.10.017>
- Velín, D. (2015). Caracterización de residuos sólidos urbanos en las unidades educativas de la ciudad de Macas, mediante la aplicación de normas mexicanas (NMX – AA - 015-019-022-061 – 1985), para proponer un Plan de Manejo Ambiental. (Universidad Nacional de Loja).
- Vural Gursel, I., Moretti, C., Hamelin, L., Jakobsen, L. G., Steingrimsdottir, M. M., Junginger, M., Høibye, L., & Shen, L. (2021). Comparative cradle-to-grave life cycle assessment of bio-based and petrochemical PET bottles. *The Science of the total environment*, 793, 148642. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148642>
- Webb, H., Arnott, J., Crawford, R., & Ivanova, E. (2013). Plastic degradation and its environmental implications with special reference to poly(ethylene terephthalate). *Polymers*, 5(1), 1–18. <https://doi.org/10.3390/polym5010001>
- Weidema, B., Bauer, C., Hischer, R., Mutel, C., Nemecek, T., Reinhard, J., ... & Wenet, G. (2013). Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. *Ecoinvent report*, 1.
- Weidema, BP y Wesnaes, MS (1996). Gestión de calidad de datos para inventarios de

ciclo de vida: un ejemplo del uso de indicadores de calidad de datos. *Revista de producción más limpia*, 4 (3-4), 167-174.

Zabala Celi, J. L. (2018). *La industria del reciclaje en la ciudad de Quito, propuesta de modelo de negocio para la industria de reciclaje de plástico PET* (Master's thesis, Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador).

Zambrano, E. A. (2013). *Análisis del impacto económico ambiental en las industrias plásticas del Ecuador: diseño de una planta reprocesadora de residuos plásticos PET que impulse el consumo local* (Master's thesis).

Zenner de Polanía, I., & Peña, F. (2013). plásticos en la agricultura: beneficio y costo ambiental: una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 139-150.

Zhang, L., Chen, T., Yang, J., Cai, Z., Sheng, H., Yuan, Z., & Wu, H. (2017). Characterizing copper flows in international trade of China, 1975–2015. *Science of The Total Environment*, 601-602, 1238-1246. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.216>

Zhou, Y., Yang, N., & Hu, S. (2013). Industrial metabolism of PVC in China: A dynamic material flow analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 73, 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.12.016>

Zurbrügg, C. (2017). *Biowaste Management: the key to sustainable municipal solid waste management*. (November). Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11157-017-9422-5x>

10. ANEXOS

Anexo 1: Registro fotográfico, equivalencia de kilogramos a unidades de botellas PET (experimental).



Anexo 2: Matriz de hallazgos, metodología de FINK para el sistema nacional

BASE DE DATOS	AÑO	TITULO PUBLICACION	AUTOR	DATOS
Google Académico	2017	Diseño de una red de valor inversa para cerrar el ciclo de vida de los envases en Tereftalato de Polietileno PET en la ciudad de Bogotá, Colombia.	Mónica Suárez Germán Quiroga	El ciclo de vida del PET se divide en tres etapas: la producción del envase (preforma, el caldeado, el estirado y soplado y el envasado del producto); la etapa de vida (desde el envasado del producto o líquido hasta la disposición del envase después de consumido el producto); y el reciclaje (recogida, selección, trituración, lavado, flotación, selección de partículas y granulación).
Google Académico	2019	Diagnóstico del reciclaje de la botella PET en Argentina : estrategias en empresas de consumo masivo de bebidas sin alcohol para la gestión de envases PET post consumo	Maria Salomone	Los elementos del ciclo de vida de la botella PET, contempla etapas como: Producción, Comercialización, Consumo, Descarte, Recolección, Clasificación, y Reciclaje o Reutilización
Google Académico	2020	Technical Limits in Circularity for Plastic Packages	Marieke Brouwer Eggo Thoden van Velzen Kim Ragaert Roland ten Klooster	La cadena de reciclaje de plásticos se puede mejorar en las cuatro etapas principales: productores de envases (diseño de envases), empresas de recogida de residuos (tasa de recogida), instalaciones de clasificación (tecnologías, entornos y operaciones) y las instalaciones de reciclaje mecánico (tecnologías, entornos y operaciones)
Google Académico	2020	Tackling the Challenge of Packaging Plastic in the Environment	Michael Norton	Las etapas de la cadena de valor de envases plásticos son: extracción de materias primas de combustibles fósiles, manufactura y envasado de productos, consumo, y fin de vida
Google Académico	2019	Accelerating plastic recovery in the United States	Thomas Hundertmark Manuel Prieto Andrew Ryba Theo Jan Simons Jeremy Wallach	La cadena de valor del plástico comienza con la fabricación de resina virgen a partir de materias primas de hidrocarburos para convertirlos en pellets, luego estos pellets son transformados en botellas para ser llenados con productos que se venden a consumidores. Una vez consumidos los productos, se da una recolección de residuos, transporte y clasificación para ser utilizados en las instalaciones de reciclaje.

ScienceDirect	2021	Comparative cradle-to-grave life cycle assessment of bio-based and petrochemical PET bottles	Iris Vural Gursela Christian Moretti Lorie Hamelin Line Geest Jakobsen Maria Magnea Steingrimsdottir MartinJunginger Linda Højbye Li Shen	Se utilizó un límite del sistema de la cuna a la tumba que incluía las etapas del ciclo de vida desde la producción de materia prima, la fabricación y el final de la vida útil (EoL). La fase de uso del consumidor se excluye del análisis, que es la misma para todos los sistemas de productos y tiene un impacto insignificante.
---------------	------	--	--	---

Anexo 3: Matriz de incertidumbres cuantitativas del sistema nacional

TABLA DE INCERTIDUMBRES																	
Proceso	Proceso o flujo precedente	2017	2018	2019	Media	Error absoluto (Xi- Xprom.)			Incertidumbre absoluta (Xi- Xprom.)^2			Desviación estándar	Varianza	Error estadístico	Coficiente de Variación	Margen de error (Z=1,96 para 95% confianza)	Porcentaje
Producción	Importación de pellet PET virgen	37200,87	32412,04	43361,34	37658,08	457,21	5246,04	5703,26	209044,03	2752097,06	3252713,61	5488,95	30128575,65	3169,05	14,58	6211,33	14,32
	Uso de pellet PET reciclado local	4406,40	5400,00	6600,00	5468,80	1062,40	68,80	1131,20	1128693,76	4733,44	1279613,44	1098,42	1206520,32	634,17	20,09	1242,98	18,83
	Importación de HDPE	3421,70	3109,58	4108,72	3546,67	124,97	437,08	562,05	15617,46	191040,40	315901,92	511,16	261279,89	295,12	14,41	578,43	14,08
	Molido Reproceso	1248,22	1134,36	1498,84	1293,81	45,59	159,45	205,03	2078,30	25422,80	42038,82	186,47	34769,96	107,66	14,412	211,01	14,08
Distribución y Comercialización	Manufactura / Producción	44409,02	40358,22	53325,63	46030,96	1621,94	5672,73	7294,67	2630692,42	3217990,934	5321228,031	6634,11	4401144,104	3830,21	14,41	7507,20	14,08
	Importación de botellas vacías	3111,00	3267,20	2344,23	2907,48	203,52	359,72	563,25	41421,75	129400,88	317246,81	494,00	244034,72	285,21	16,99	559,01	23,85
Embotellado de bebidas	Distribución y Comercialización	40392,01	37081,61	47319,38	41597,67	1205,65	4516,06	5721,71	1453603,90	2039478,835	3273801,002	5224,29	2729320,113	3016,24	12,56	5911,84	12,49

Embotellado de Otros productos	Distribución y Comercialización	7128,00	6543,81	8350,48	7340,77	-212,76	-796,95	1009,71	45267,94	635131,82	1019522,80	921,93	849961,28	532,28	12,56	1043,27	12,49
Exportación de productos embotellados en PET	Embotellado de bebidas	92,77	155,72	112,03	120,18	-27,40	35,55	-8,14	750,94	1263,54	66,31	32,26	1040,39	18,62	26,84	36,50	32,58
	Embotellado de Otros productos	1732,28	1514,53	1314,81	1520,54	211,74	-6,01	205,73	44832,84	36,13	42323,62	208,80	43596,30	120,55	13,73	236,28	17,97
Uso y Descarte	Importación de bebidas en botellas PET	681,58	709,98	1200,86	864,14	182,56	154,16	336,72	33329,25	23763,85	113379,19	291,95	85236,14	168,56	33,79	330,38	27,51
	Importación de otros productos en botellas PET	1051,28	1121,15	1394,78	1189,07	137,79	-67,92	205,71	18986,40	4612,76	42315,98	181,54	32957,58	104,81	15,27	205,43	14,73
	Embotellado de bebidas	40299,24	36925,89	47207,35	41477,49	1178,25	4551,61	5729,86	1388277,18	2071711,066	3283126,159	5241,02	2746832,472	3025,91	12,64	5930,78	12,56
	Embotellado de Otros productos	5395,73	5029,29	7035,67	5820,23	424,50	790,94	1215,44	180200,52	625587,59	1477297,48	1068,43	1141542,79	616,86	18,36	1209,04	17,18
Reciclaje	Uso y Descarte	36882,73	33872,28	43567,38	38107,47	1224,73	4235,18	5459,92	1499971,57	1793678,79	2981070,06	4962,23	2462373,071	2864,95	13,02	5615,29	12,89
	Producción / Manufactura	416,07	378,12	499,61	431,27	-15,20	-53,15	68,34	230,92	2824,76	4670,98	62,16	3863,33	35,89	14,41	70,34	14,08
Disposición Final	Producción / Manufactura	203,88	185,28	244,81	211,32	-7,45	-26,04	33,49	55,44	678,22	1121,50	30,46	927,59	17,58	14,41	34,46	14,08
	Uso y Descarte de botellas de otros productos	6447,01	6150,44	8430,45	7009,30	562,29	858,86	1421,15	316171,71	737637,54	2019666,64	1239,65	1536737,95	715,71	17,69	1402,80	16,64

	Uso y Descarte de botellas de bebidas no recolectadas	4098,08	3763,59	4840,82	4234,16	-136,08	-470,58	606,66	18518,17	221441,82	368033,36	551,36	303996,68	318,33	13,02	623,92	12,89
Comercialización	Reciclaje y Gestión	34314,90	31510,37	40541,64	35455,64	-1140,74	-3945,27	5086,00	1301276,45	15565126,20	25867409,73	4622,44	21366906,19	2668,76	13,04	5230,78	12,90
Comercialización y exportación de residuos de tapas	Reciclaje	2983,90	2740,03	3525,36	3083,10	-99,19	-343,07	442,26	9839,52	117694,72	195594,78	401,95	161564,51	232,07	13,04	454,85	12,90
Exportación de flake reciclado	Comercialización	21854,95	19079,55	24802,07	21912,19	-57,24	-2832,64	2889,88	3276,59	8023841,38	8351407,12	2861,69	8189262,55	1652,20	13,06	3238,31	13,06
Exportación de pellet reciclado	Comercialización	2071,85	1808,74	2351,24	2077,28	-5,43	-268,53	273,96	29,45	72110,75	75054,61	271,29	73597,40	156,63	13,06	306,99	13,06
Comercialización nacional de flake y pellet	Comercialización	5981,70	5222,07	6788,33	5997,37	-15,67	-775,29	790,96	245,46	601079,64	625618,15	783,24	613471,62	452,21	13,06	886,32	13,06
																Promedio de incertidumbre	15,93

Anexo 4: Matriz de hallazgos, metodología de FINK para el sistema cantonal

BASE DE DATOS	AÑO	TITULO PUBLICACION	AUTOR	DATOS
Google Académico	2020	Análisis de la generación per cápita y composición gravimétrica de residuos sólidos procedentes de diferentes fuentes del cantón Cuenca.	Roberta Fiallo	Los centros educativos, en una comunidad, ciudad e incluso país, forman gran parte de la generación de residuos sólidos, de forma semejante, los hoteles, bares y restaurantes son grandes generadores a ser tomados en cuenta dentro de un sistema de gestión para residuos.
Google Académico	2020	Environmental and Socioeconomic Impacts of Urban Waste Recycling as Part of Circular Economy. The Case of Cuenca (Ecuador)	Damián Burneo José M. Cansino Rocío Iniguez	En Cuenca, los residuos sólidos urbanos son gestionados mediante la empresa pública EMAC Un canal alternativo para la gestión de residuos comienza con la recogida y clasificación de residuos inorgánicos por parte de los mineros urbanos, posteriormente éstos son comercializados mediante asociaciones o de manera directa, la industria que utiliza materiales reciclados adquieren estos materiales, concluyendo de esta manera los canales.
Google Académico	2018	Instrumentos económicos para la gestión de residuos de envases en Ecuador.	Juan Pinos Ignasi Puig Ventosa Fernanda Banegas Fanny Quezada Gabriela Delgado Nataly Orellana Silvia Saquisilí Toa Quindi Gustavo Chacón	Entre las ciudades que más se destacan sobre el manejo de RSU se encuentran Cuenca, Quito y Loja. Cuenca recicla mensualmente aproximadamente 102 toneladas de basura involucrando al 40% de su población, a pesar de ser la ciudad modelo en Ecuador, la gestión del reciclaje se ve aún insuficiente si se compara con las 490 toneladas de basura no reciclable que se disponen diariamente en el relleno sanitario. A raíz del impuesto redimible, la gestión de los envases plásticos no retornables está basada en el reciclaje, recolección y comercialización, normalmente por parte de pequeños recicladores que recolectan este material en calles, edificios, mercados, botaderos, etc. y los venden a centros de acopio
Science Direct	2020	Dataset for life cycle assessment of pet bottle waste management options in Bauru, Brazil	Eduardo Martin Deborah Oliveira Luiza Oliveira Barbara.Bezerra	Los residuos PET en Brasil son gestionados en cierta medida mediante el reciclaje, alcanzando porcentajes de cerca del 51%. A partir del reciclaje, se produce PET reciclado de grado alimenticio.

				Otro camino para este tipo de residuos en la incineración o en su defecto la disposición en rellenos sanitarios
Springer	2011	Life cycle energy and GHG emissions of PET recycling: change-oriented effects	Li Shen, Evert Nieuwlaar Ernst Worrell Martin K. Patel	El sistema de botellas de residuos analizado, se considera desde la recolección de la botella hasta la producción de pellets El proceso de reciclaje comenzó con la recogida de botellas. Se asume que las botellas usadas se reciclan con una tasa de recolección del 100% y una eficiencia del material del 95%. Sobre los flujos de materiales globales de hoy para el PET reciclado, se asumió en el sistema de reciclaje de línea de base que el 88% de los gránulos de PET reciclado (rPET) se usa para el reciclaje (pellets y flake) y el 12% se destina al reciclaje (para botellas).

Anexo 5: Encuestas realizadas a recicladores de base, en el marco del proyecto “Análisis de Ciclo de Vida Social en Cuenca (ACVS)”



Anexo 6: Entrevista realizada al técnico de la EMAC, Ing. Juan pablo vega

ENTREVISTA ING JUAN PABLO VEGA TÉCNICO DE RECICLAJE - EMAC EP

La entrevista se realizó al Ingeniero Juan Pablo Vega, técnico de la EMAC, en las instalaciones del Ecoparque el Valle, el día 31 de marzo de 2021. Previo al consentimiento del entrevistado se documentó la entrevista en audio y por escrito.

De todos los residuos de botellas PET que se recolectan en el punto limpio, ¿qué porcentaje/fracción es aprovechable?

Debido a que las plantas de ARJC y El Chorro son independientes a la EMAC, no se tiene un registro específico del porcentaje aprovechable; sin embargo, por experiencia, es conocido que todos los residuos se aprovechan por completo.

¿Qué fracción de residuos aprovechables que llegan al punto limpio, provienen de usuarios domiciliarios?

El material que llega al Punto Limpio es netamente domiciliario

¿Cuál es el destino de los residuos recolectados en el Punto Limpio?

Todo lo recolectado en el Punto Limpio se entrega a la asociación El Chorro, ninguna otra lo recibe.

¿Qué cantidad / fracción del total de residuos que llegan en las fundas negras, corresponden a PET?

Los fundas negras van directo al relleno sanitario, hay estudios de caracterización que se hacen cada 3 años y presentan una aproximación del porcentaje de cada componente en la funda. El informe más reciente corresponde al año 2018.

De los residuos que llegan al relleno sanitario mediante transporte privado ya sea de domicilios, comercios, industrias, etc. ¿Alguna fracción del total corresponde a residuos PET?

Emac tiene un registro de los residuos llevados por transporte privado al relleno sanit, pero solo contiene lugar de procedencia, fecha, hora y peso total, más no el tipo de residuo que contiene.

En el caso de industrias, al ser el PET un material atractivo, es bastante improbable que estos residuos se dejen en el relleno sanitario por iniciativa privada.

De los residuos de botellas PET que llegan en la funda celeste, ¿qué porcentaje/fracción es aprovechable y que porcentaje/fracción va al relleno sanitario?

Me atrevería a decir que el 100% del PET es aprovechable, es decir que todo se comercializa porque al ser cantidades grandes, los intermediarios no se detienen a revisar aspectos físicos al momento de la compra. Aun así, que las botellas sean aprovechadas o no, depende de los hábitos de separación de las personas.

Anexo 7: Entrevista realizada a la presidenta de la Asociación El Chorro, Sra. Alegría Villa

ENTREVISTA ALEGRÍA VILLA RECICLADORA - ASOCIACIÓN EL CHORRO

La entrevista se realizó a la señora María Alegría Villa, presidenta de la asociación de recicladores "El Chorro" en el centro de acopio de esta asociación el día 31 de marzo de 2021. Se informó la temática a tratar y se obtuvo el consentimiento para documentar sus respuestas por audio y escrito.

¿Cuántos recicladores pertenecen a esta asociación?

Aquí somos 13 personas

¿Qué día llegan las botellas plásticas a la asociación?

Miércoles, Jueves y Viernes

¿Ustedes pesan las fundas celestes que llegan?

Vienen pesadas, nosotros no tenemos un registro de lo que viene. Lo que luego pesan aquí es si tenemos informe

De las botellas PET, ¿sabe cuánto recolectan en peso más o menos?

De eso, 60 - 70 kg es una foja, que se llena cada dos días más o menos

¿Cuántas tolas llenan a la semana?

Saben salir 3 o 4 tolas a la semana.

De todas las botellas PET que les llegan, ¿todas les sirven? o ¿mandan alguna botella al relleno sanitario?

Todas las botellas nos sirven, excepto las que no son PET

¿Qué botellas de PET, de las que llegan, son las más representativas, es decir la que más les llega? por ejemplo coca cola, agua vivant, güitig, etc.

De las de cola y las de agua; las medianas.

La verdad nos llega de todo

¿Qué hacen con estas botellas, a quién le venden?

Se vende al intermediario, David Cárdenas

¿Sabe si este intermediario a quién vende o a dónde se envía?

No, la verdad no tengo idea. Él dijo que enviaba a una fábrica en GYE

¿Cada cuánto venden estas botellas?

Cada semana

¿Venden siempre a la misma persona?

No, ahora vendemos a Don Iván Álvarez también. Recién empezamos a trabajar con él hace unos 3 meses

¿Sabe más o menos qué cantidad le vende a este intermediario?

Tenemos los registros, unas 170 a 190 kg a la semana

Anexo 8: Entrevista realizada al presidente de la Asociación ARUC, Sr. Alberto Macas

ENTREVISTA ALBERTO MACAS Y JULIA ESTRELLA PRESIDENTE Y VICEPRESIDENTA - ASOCIACIÓN ARUC

La entrevista se realizó al señor Alberto Macas y la señora Julia Estrella, presidente y vicepresidenta de la asociación de recicladores "ARUC" en el centro de acopio de esta asociación. Se informó la temática a tratar y se obtuvo el consentimiento para documentar sus respuestas por audio y escrito.

¿Cuántos recicladores trabajan en este centro de acopio?

Trabajamos 18 recicladores

¿Cuántos de ellos lo hacen en modalidad mixta?

13 personas

¿Cuántos recicladores recolectan a pie de vereda?

5 personas, ellos solo recolectan de afuera

¿Qué cantidad de residuos PET llegan a sus instalaciones mensualmente por parte de la EMAC en 2019?

Aproximadamente 700 kilogramos al mes

¿Qué cantidad de residuos PET es recolectada por los recicladores a pie de vereda?

Aproximadamente 5 kilogramos al mes por cada uno

¿Qué cantidad de residuos de botellas de botellas PET son compradas a otras personas/industrias?

De 50 a 100 kilogramos al mes

¿De todas las botellas PET que les llegan, todas les sirven, o algo mandan al relleno sanitario?

Todas las botellas de bebidas nos sirven, se aprovecha todo (Don Alberto)
A veces llega una que otra botella de aceite, esas son desechadas (Sra Julia)

¿Qué hacen con estas botellas, a quién le venden?

Se vende al intermediario, al señor Edisson Pinos

¿Sabe si este intermediario a quién vende o a dónde se envía?

Tengo entendido que lo que es PET se va todo a Guayaquil, y algunos otros materiales también van a Quito

¿Qué botellas PET son las que más llegan?

Las que más llegan suelen ser botellas de tamaño mediano, pero de las grandes de cola y pequeñas también hay muchas

Anexo 9: Matriz de incertidumbres cuantitativas del sistema cantonal

TABLA DE INCERTIDUMBRES																	
Proceso	Proceso o flujo precedente	2017	2018	2019	Media	Error absoluto (Xi- Xprom.)			Incertidumbre absoluta (Xi- Xprom.)^2			Desviación estándar	Varianza	Error estadístico	Coficiente de Variación	Margen de error (Z=1,96 para 95% confianza)	Porcentaje de incertidumbre
Generación Domiciliaria	Uso/ Consumo Domiciliario	759,96	854,65	838,19	817,60	-57,64	37,05	20,59	3322,46	1372,65	424,01	50,59	2559,56	29,21	6,19	57,25	6,83
Generación Restaurantes	Uso/ Consumo Restaurantes	213,92	227,1	216,03	219,02	-5,10	8,08	-2,98	25,99	65,32	8,90	7,08	50,11	4,09	3,23	8,01	3,71
Generación Instituciones Educativas	Uso/ Consumo Instituciones Educativas	153,45	131,1	130,71	138,42	15,03	-7,32	-7,71	225,94	53,56	59,49	13,02	169,50	7,52	9,41	14,73	11,27
Recolección Punto Limpio	Generación Domiciliaria	1,03	1,05	1,07	1,05	-0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	1,83	0,02	2,03
Recolección Formal	Generación Domiciliaria	13,57	14,45	14,55	14,19	-0,62	0,26	0,36	0,38	0,07	0,13	0,54	0,29	0,31	3,79	0,61	4,18
	Generación Restaurantes	3,82	3,84	3,75	3,80	0,02	0,04	-0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,03	1,26	0,05	1,44
	Generación Instituciones Educativas	2,74	2,22	2,59	2,52	0,23	-0,30	0,07	0,05	0,09	0,01	0,27	0,07	0,16	10,70	0,30	11,77
Recolección Informal	Generación Domiciliaria	314,08	334,44	336,65	328,39	-14,31	6,05	8,26	204,76	36,63	68,18	12,44	154,79	7,18	3,79	14,08	4,18
	Generación Restaurantes	88,41	88,87	86,77	88,02	0,39	0,85	-1,25	0,16	0,73	1,56	1,11	1,22	0,64	1,26	1,25	1,44
	Generación Instituciones Educativas	63,42	51,30	59,88	58,20	5,22	-6,90	1,68	27,24	47,57	2,81	6,23	38,81	3,60	10,70	7,05	11,77
Preprocesamiento El Chorro	Punto Limpio	1,03	1,05	1,07	1,05	-0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	1,83	0,02	2,03
	Recolección Formal	12,03	12,26	12,48	12,25	-0,22	0,00	0,22	0,05	0,00	0,05	0,22	0,05	0,13	1,83	0,25	2,03

Preprocesamiento ARUC	Recolección Formal	8,10	8,26	8,41	8,26	-0,15	0,00	0,15	0,02	0,00	0,02	0,15	0,02	0,09	1,83	0,17	2,03
	Recolección Informal	0,75	0,77	0,78	0,77	-0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	1,83	0,02	2,03
	Generación Domiciliaria	0,87	0,88	0,9	0,88	-0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	1,83	0,02	2,03
Preprocesamiento Informal	Recolección Informal	465,16	473,85	482,51	473,84	-8,68	0,01	8,67	75,36	0,00	75,21	8,68	75,29	5,01	1,83	9,82	2,03
Comercialización a intermediarios locales	Preprocesamiento El Chorro	13,06	13,31	13,55	13,31	-0,24	0,00	0,24	0,06	0,00	0,06	0,24	0,06	0,14	1,83	0,28	2,03
	Preprocesamiento Aruc	9,72	9,91	10,09	9,91	-0,18	0,00	0,18	0,03	0,00	0,03	0,18	0,03	0,10	1,83	0,21	2,03
	Preprocesamiento Informal	465,16	473,85	482,51	473,84	-8,68	0,01	8,67	75,36	0,00	75,21	8,68	75,29	5,01	1,83	9,82	2,03
Comercialización a intermediarios GYE	Comercialización a Intermediario locales	483,06	492,09	501,09	492,08	-9,02	0,01	9,01	81,28	0,00	81,11	9,01	81,20	5,20	1,83	10,20	2,03
Comercialización a intermediarios Cañar, Riobamba, UIO	Comercialización a Intermediario locales	4,88	4,97	5,06	4,97	-0,09	0,00	0,09	0,01	0,00	0,01	0,09	0,01	0,05	1,83	0,10	2,03
Disposición Final	Generación Domiciliaria	430,41	503,82	485,03	473,08	42,68	30,74	11,94	1821,36	944,67	142,61	38,14	1454,32	22,02	8,06	43,15	8,90
	Generación Restaurantes	121,69	134,39	125,52	127,20	-5,51	7,19	-1,68	30,36	51,72	2,83	6,52	42,45	3,76	5,12	7,37	5,87
	Generación Instituciones Educativas	87,29	77,58	86,62	83,83	3,46	-6,25	2,79	11,98	39,05	7,77	5,42	29,40	3,13	6,47	6,14	7,08
Promedio de incertidumbre																4,29	

Anexo 10: Validación del sistema cantonal con el experto 1: Ing. Juan Pablo Vega.

The screenshot shows a Zoom meeting interface. At the top, it says 'DANIELA ESTEFANIA MINCHALA MACAS está presentando'. The main content is a presentation slide titled 'RECOLECCIÓN INFORMAL'. The slide contains a flowchart and data:

Entradas:

- Generación Domicilios
- Restaurantes: -315,79 t/y
- Instituciones Educativas: -99,11 t/y
- Instituciones Educativas: -68,40 t/y

Recolección Informal (Central Process)

Salidas:

- 13 trabajan fuera de planta y recogen 5 kg/mes (0,78 t/y)
- Botellas PET vacías: -482,51 t/y

Preprocesamiento ARUC

Preprocesamiento Informal

Dato SLCA: 0,848 toneladas anuales por reciclador (569 recicladores)

Dato ARUC: 5kg al mes por reciclador (13 recicladores)

Video feeds show Daniela Estefanía Minchala Macas (top left), Juan Pablo Vega (top right), and a smaller feed for 'Tú' (bottom right). The bottom of the screen shows meeting controls and a timestamp of 15:42 | Validación MFA Cuenca.

Anexo 11: Validación del sistema cantonal con el experto 2: Ing. María Eulalia Vanegas.

The screenshot shows a Zoom meeting grid with four participants:

- PAUL F. VANEGAS PEÑA** (top left): A man wearing a headset and a blue face mask.
- Ma. Paz Ullauri** (top right): A woman wearing a white face mask.
- MARÍA EULALIA VANEGAS PEÑA** (bottom left): A woman wearing glasses and a grey sweater, with the UCUENCA logo visible in the background.
- DANIELA ESTEFANIA MINCHAL...** (bottom right): A woman wearing glasses and a black face mask.

The top right corner of the grid has a 'View' button. The bottom of the screen shows meeting controls.

Anexo 12: Validación del sistema cantonal con el experto 2: Ing. José Luis Solano.

