



Munich Personal RePEc Archive

**Solid waste and economic activity:  
sectoral evaluation of secondary raw  
material consumption through the  
application of the input-output matrix to  
the ecuadorian economy**

Uquillas, Carlos Alfredo

Universidad Nacional de General Sarmiento

9 May 2022

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/123666/>  
MPRA Paper No. 123666, posted 18 Feb 2025 06:57 UTC

# **Residuos sólidos y actividad económica: evaluación sectorial del consumo de materia prima secundaria a través de la aplicación de la matriz insumo producto a la economía ecuatoriana**

## **Solid waste and economic activity: sectoral evaluation of secondary raw material consumption through the application of the input-output matrix to the ecuadorian economy**

### **Abstract**

The objective of this study was to assess the fulfillment of the recycling target agreed by Ecuador within the framework of the National Development Plan of Ecuador (2017-2021), aligned with Sustainable Development Goal 12 of the 2030 Agenda. Based on the results and progress in this area, the Input-Output Matrix (IOM) technique was used to estimate the energy balance and carbon footprint. Then, the generation of solid waste and the effects of secondary raw materials on consumption and final demand were projected. Additionally, an analysis was conducted on the impacts of economic growth on greenhouse gas emissions, using Ecuador as a case study. Due to its nature, this research is one of the first of its kind, and its conclusions and evaluation methodology will help understand the interrelationships between productive sectors and, consequently, evaluate environmental policies related to waste management, greenhouse gases, solid waste generation, and energy consumption.

### **Keywords:**

Recycling, Environmental impacts, Economy, IOM Methodology, Carbon footprint, Greenhouse gas emissions (GHG), Solid waste.

### **JEL Classification:**

**Q50, Q56, C67, H23, E27, R58.**

### **Resumen**

El objetivo de este estudio, fue realizar una evaluación respecto al cumplimiento de la meta de reciclaje acordada por el Ecuador en el marco del Plan Nacional de Desarrollo del Ecuador (2017-2021), y alineada con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 12 de la Agenda 2030. Sobre la base de los resultados y avances en esta materia, se utilizó la técnica de Matriz Insumo Producto (MIP) para estimar el balance energético y la huella de carbono, luego, se proyectó la generación de residuos sólido y los efectos de la materia prima secundaria en el consumo y demanda final. Por otro lado, se realizó un análisis respecto a los impactos que el crecimiento económico provoca en las emisiones de gases de efecto invernadero, considerando al Ecuador como punto de ejemplo. Por su naturaleza, ésta investigación es una de las primeras en su tipo, y sus conclusiones y metodología de evaluación permitirá comprender las interrelaciones existentes entre los sectores productivos y consecuentemente evaluar políticas ambientales relacionadas con la gestión de residuos, gas efecto invernadero, generación de residuos sólidos y consumo de energía.

## Palabras clave

Reciclaje, Impactos ambientales, Economía, Metodología MIP, Huella de carbono, Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), Residuos sólidos

## Clasificación JEL

Q50, Q56, C67, H23, E27, R58.

## 1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta investigación se direccionó a evaluar el cumplimiento de la meta de reciclaje propuesta en el Plan Nacional de Desarrollo del Ecuador del periodo 2017-2021 y los posibles impactos ambientales y efectos económicos que pudieran haberse generado en los sectores productivos. Este compromiso gubernamental estaba alineado al Objetivo de Desarrollo Sostenible 12 de la Agenda 2030 conforme la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Este estudio se realizó a través de la implementación de la técnica insumo producto (MIP), que sirvió como instrumento fundamental para la estimación del balance energético y la huella de carbono. En base a las proyecciones de crecimiento de la actividad económica, el ingreso per cápita y la población se estimó la generación de residuos sólidos y los efectos que podrían generarse producto de la internalización de la materia prima secundaria en el consumo intermedio y la realización de la demanda final.

La metodología MIP (Matriz Insumo Producto) o enfoque de responsabilidad del productor (López, Accorsi, & Sturla, 2016) es un punto de vista completo y actual, dado que permite realizar mediciones muy precisas sobre las emisiones de gas efecto invernadero (GEI) que se originan específicamente en las industrias y en forma agregada en los sectores productivos mientras demandan y consumen insumos inter y entre industrias. De esta manera fue posible conocer la contribución de emisiones de carbono que genera cada industria o sector productivo cuando se realiza la actividad económica.

De acuerdo a los estudios de Hettige, Lucas, & Wheeler (1992), Campo & Olivares (2013) y Nain, Ahmad, & Kamaiah (2015) concluyen que existe una relación de largo plazo entre el Producto Interno bruto, Consumo de Energía y las Emisiones de  $CO_2$ . Además, que hay una relación de causalidad que advierte que en el largo plazo el crecimiento económico es un determinante del cambio climático, de tal forma que el crecimiento de la producción de todos los sectores es capaz de incrementar las emisiones GEI, principalmente en los países de más bajos ingresos.

Kaya y Yokobori (1997) desarrollaron una identidad matemática que permitió cuantificar la emisión de  $CO_2$  en función de cuatro variables: población, PIB per cápita, intensidad energética y emisiones de  $CO_2$  emitidas por unidad de energía consumida, concluyendo que estas variables son capaces de explicar las emisiones de  $CO_2$  eficientemente.

Por otro lado, se comprobó que la generación de residuos es directamente proporcional a la intensidad de la producción, consumo de las familias, gasto del gobierno, formación bruta de

capital fijo, consumo de energía y al tamaño de la población; en base a esta expresión se estimó los residuos sólidos y la generación de materia prima secundaria.

Por su naturaleza este trabajo es uno de los primeros estudios intersectoriales que se realizan en este campo de investigación que puede permitir conocer el grado de interrelacionamiento que existen entre los sectores productivos. Además, servir de guía para la aplicación y evaluación de políticas en el ámbito ambiental de gestión integral de residuos sólidos (Hernández, 2021).

Para alcanzar el objetivo planteado, se utilizó los datos de cuentas nacionales que dispone el Banco Central del Ecuador para elaborar la MIP, luego, utilizando la metodología de Alcántara & Padilla (2009) más la información del Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables sobre consumo energético se realizó el balance energético y estimo la huella de carbono conforme la matriz insumo producto. Finalmente, en base el comportamiento de GEI sectorial se estimó los residuos sólidos y el impacto de la internalización de la materia prima secundaria en el consumo intermedio y demanda final.

Este estudio esta estructurado en siete temas principales, la primera sección contiene la Introducción que se presenta. La sección 2 muestra el marco de referencia conceptual y empírico, que recoge las definiciones conceptuales y los principales estudios que se han realizado sobre el tema. En la sección 3 se expone de forma algebraica cuatro métodos de cuantificación y estimación de la demanda de energía, emisiones de gas efecto invernadero, generación de residuos sólidos, materia prima secundaria y el origen de la información utilizada. La sección 4 presenta la evidencia empírica y la discusión de los resultados que se obtuvieron producto de la aplicación de las cuatro metodologías. En la sección 5 se analiza el cumplimiento de la meta de reciclaje del Objetivo 12 de la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible en base a los resultados alcanzados con corte al año 2019 y sobre estos resultados se realiza un análisis comparativo entre la línea de base y la simulación, como producto final se plantean las conclusiones más importantes a la que llega el estudio. La sección 6 recoge la bibliografía utilizada y La sección 7 se incluyen los anexos en la cual se encuentra la información generada en los cálculos.

## **2 MARCO DE REFERENCIA**

### **2.1 Marco de Referencia Conceptual.**

La Humanidad desde que es consiente que puede consumir diversos bienes y servicios a través del aprovechamiento dinámico de los recursos naturales ha explotado la naturaleza de forma no sostenida por más de tres siglos en forma continua y cada vez en mayor proporción, esta dinámica fue impulsada principalmente por la revolución industrial y la globalización económica, induciendo a un fuerte proceso extractivo e industrializador de materias primas renovables y no renovables en la mayoría de países del mundo. Este desarrollo industrial emprendido por el hombre genera importantes impactos y graves repercusiones sobre el planeta, cuyos efectos fundamentalmente son observables en el cambio climático ocasionado por la emisión de gases efecto invernadero que afectan directamente a la capa de ozono.

Acorde al estudio realizado por Pepa Gisbert Aguilar (2007), menciona que desde 1990 los seres humanos estamos viviendo por encima de la capacidad de carga del planeta y que desde el año 2003 la humanidad ya habría sobrepasado en 25% la capacidad de regeneración de la naturaleza. Este hallazgo considera la investigadora podría estar relacionado con el modelo económico bajo el cual explotamos la naturaleza, dado que este impulsa el aumento de la producción y el consumo y en su afán de perseguir permanentemente el crecimiento y desarrollo industrial no considera la disposición final de los residuos sólidos, siendo quizá su origen epistemológico capitalista la razón por la que la naturaleza es solo visto como un factor de producción, al cual se le debe extraer el mayor provecho y rentabilidad posible.

En el año 2000 la población urbana fue 2.900 millones de habitantes y generó 0.64 kg de residuos por persona por día, diez años después, esta cantidad se había duplicado, pasando a 1.2 kg de residuos y la población solo se había incrementado 100 millones. Para el año 2025 el Banco Mundial (2012) espera que la población que vive en las ciudades alcance 4.300 millones de personas y se estima que estas generen 1.42 kg de residuos por persona al día, es decir 2.200 millones de toneladas de residuos. Solo Latinoamérica al momento genera el 7.4% de las emisiones totales de residuos cuyo porcentaje está muy por encima de la media global, 3.3%.

En este escenario, desde inicio del nuevo siglo, la mayoría de los países del mundo iniciaron la implementación de modelos de gestión de residuos, concentrando sus esfuerzos fundamentalmente en la eliminación y disposición final de residuos en un botadero, sin considerar que muchos de estos residuos pueden ser separados, reciclados y vueltos a reutilizar en nuevos procesos productivos.

El Banco Mundial (2020), alertó que la producción de residuos sólidos aumentará ostensiblemente su volumen, pasando de 1300 millones de toneladas registradas en el año 2012 a 2200 millones de toneladas para el año 2025, fenómeno que será visible especialmente en las ciudades de los países en desarrollo; en ese mismo enfoque, la asociación Waste Atlas (2020) de la University of Leeds, desde el 2013 viene presentando el ranking con los países que generan más desechos en el mundo, siendo el líder China, seguido por Estados Unidos, India, Brasil, Indonesia, Alemania y Rusia, entre los principales.

La inadecuada gestión de residuos sólidos es un problema que involucra a todos los países, dado que sus efectos se manifiestan en el ambiente, contaminando nuestros ríos, mares y océanos, causando inundaciones, transmitiendo enfermedades y perjudicando el hábitat de animales y vegetación. Aproximadamente el 5% del gas efecto invernadero proviene de los desechos, sin incluir el transporte, por esta razón solucionar este problema es crucial para el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Esta problemática mencionada llevó a que la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en el año 2015, en el marco de la gobernanza global ambiental, apruebe la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, documento que contiene 17 objetivos que abarcan los ámbitos económico, social y ambiental, siendo el objetivo ambiental 7, el que incluye la implementación de medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos

y el Objetivo 12, el que promueve la garantía de las modalidades de consumo y producción sostenibles.

En efecto, el reciclaje está considerado como una tarea productiva fundamental para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en este contexto los líderes mundiales son Alemania (56,1%), seguido por Austria (53,8%), Corea del Sur (53,7%) y Gales (52,2%), el resto de países mantienen tasas de reciclaje por debajo del 50%.

Por su parte América Latina está implementando novedosos planes de gestión de residuos, reciclaje, reutilización de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos y producción de nuevos productos con utilización de materia prima secundaria. Este hecho se debe a que se ha llegado a concientizar sobre el volumen de residuos que se generan en la región. Según el Informe What a Waste 2.0 del Banco Mundial (2018) América Latina y el Caribe estaría generando casi 1 kilo de basura por día, es decir, cerca de 231 millones de toneladas de desechos anuales, de los cuales el 61% corresponde a material orgánico y 25% es material inorgánico, de este último apenas el 2.5% se recicla e ingresa o es devuelta a nuevos procesos productivos. El reciclaje como tarea formal es capaz de crear empleo y mejorar la competitividad de la industria local, promover la reducción de la pobreza y el gasto municipal.

Desde 1970 las actividades de reciclaje fueron impulsadas para disminuir la tasa de extracción de recursos naturales y reducir el flujo de desechos que se origina en la producción. Estas estrategias se esperaban disminuyan la contaminación generada por los desechos, (Eichner & Pethig, 2003). Sin embargo, el reciclaje como actividad productiva y laboral tomó un camino distinto al planificado. Cajamarca et al (2019) considera que el reciclaje es una operación que permite recuperar, transformar y elaborar un material a partir de residuos, con capacidad de ser aprovechados en nuevas actividades productivas y disminuir costos en la gestión de los rellenos sanitarios y el impacto que la contaminación causa en la salud.

Han pasado veintiocho años después que la Conferencia de Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible realizada en 1992, estableciera la implementación de la Agenda 21, la que en el capítulo 21 recomendaba que en materia de residuos sólidos debe minimizarse su generación, reciclarlos y reutilizarlos al máximo, tratarlos, disponerlos adecuadamente y aumentar la cobertura de recolección y otros elementos del servicio, (ONU, 1993); en igual sentido ocurre con el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, en las que los países firmantes se comprometieron a ejecutar iniciativas de economía circular a través de política pública, siendo esta las razones por las que se debe implementar herramientas de evaluación que permita asegurarnos que estamos caminando por la senda correcta.

La literatura económica da cuenta que para la evaluación de las políticas públicas normalmente se utiliza el modelo insumo producto y/o el modelo de equilibrio general, en este sentido a continuación se presentan los trabajos más representativos y utilizados como referencia bibliográfica para evaluar posiciones y estrategias sobre el problema del cambio climático y gases efecto invernadero en un escenario político económico nacional e internacional.

## **2.2 Marco de Referencia Empírico.**

Los métodos para cuantificación y caracterización de residuos sólidos urbanos, los más fiables son: el Análisis de Pesada Total, Peso-Volumen, Balance de Masas y por Muestreo Estadístico, cuyas metodologías no logran presentar información desglosada por sectores productivos, dado que la información es recogida sin lineamiento para construcción de la matriz insumo producto. Por esta razón las estadísticas que se genera con la aplicación de estos métodos contribuyen exclusivamente al fortalecimiento de la gestión municipal de recolección de residuos urbanos y la aplicación de precios a los grandes generadores.

Por otra parte, el presente estudio está interesado en proponer una nueva metodología de cuantificación de los residuos en función de la matriz insumo producto. Para el efecto se procedió a la revisión de varios artículos científicos y revistas especializadas que realizaron estimaciones y cuantificaciones de emisiones de gases efecto invernadero y consumo de energía en base a la MIP. Esta preferencia de estudios y sus resultados permitirá preparar la metodología y cumplir el objetivo de investigación.

En los estudios revisados se apreció que la mayoría de investigadores utilizaron como referencia las metodologías de descomposición de: Huntington & Mayer (1987), Ang & Zhang (2000) y Liu & Ang (2007). Esta preferencia por estas técnicas de medición Patiño (2016) considera que es debido a que su elaboración fue producto de la revisión de una variedad de estudios sobre consumo de energía e intensidad energética de varios países del mundo.

Los investigadores mencionados advierten en sus artículos que tuvieron mucha dificultad para acceder a datos e información de calidad, dado que no existían series estadísticas cronológicas completas y con escalas de medición diferentes, de tal forma que estas limitaciones no les permitieron realizar comparaciones anuales entre países o regiones, problemática que hasta la presente fecha se mantiene en varios países.

Sobre la base de esta limitaciones, las metodologías desarrolladas y utilizadas por los investigadores citados, básicamente se refieren a la descomposición del comportamiento de las emisiones de  $CO_2$ , intensidad energética y consumo de energía. Con esta información realizaron análisis de emisiones con efecto en la actividad económica, intensidad energética, estructura o sustitución de combustibles, composición y efecto total, (Patiño, 2016) y (Buenaño, 2017).

Para el caso de la energía, la descomposición analítica se lo realizaba sobre el efecto: actividad, intensidad, estructura, sustitución y total, que son componentes de la identidad matemática propuesta por Kaya, (Kaya & Yokobori, 1997) y ampliados en Patiño (2016) y Hernández (2021).

A diferencia, los trabajos de Alcántara & Padilla (1995) y otros investigadores posteriores y seguidores de Alcántara utilizaron como herramienta de aplicación y análisis principal el modelo insumo producto de energía con cuatro efectos sobre el consumo de energía final, transformación, sustitución e interacción, (Patiño, 2016).

Alcántara & Padilla (2002), realizaron un estudio para la determinación de sectores clave en el consumo de energía final, para el efecto implementaron el modelo insumo producto y una

metodología basada en las elasticidades de la demanda del consumo de energía final. Los resultados obtenidos permitió determinar la relevancia de los sectores económicos en el consumo energético final y las implicaciones que estos pueden tener en la política energética.

Vincent Alcántara (2007), realizó un análisis imput sobre las relaciones que existen entre la estructura productiva y las emisiones de  $CO_2$  en España, aplicando la tabla imput-output simétrica y su propia metodología desarrollada para la estimación del Balance Energético y las emisiones de  $CO_2$ . El estudio concluyó que las ramas productivas clave son las causantes del 81,2% de la emisión directa total de  $CO_2$  al ambiente.

Alcántara & Padilla (2010), analizaron los factores que han contribuido al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del consumo de energía en España mediante la aplicación de la metodología de descomposición factorial sin residuos. El estudio mostró que hay un efecto escala generado por la variación del nivel de producción cuyos efectos fueron determinantes para explicar el aumento de las emisiones.

Castillo & Pino (2014), estudiaron el consumo energético y su contribución al valor agregado en Chile para el periodo 2014, utilizaron la metodología de Alcántara y Padilla 2002 y el enfoque Insumo Producto. El estudio permitió demostrar que la metodología se acoplaba eficientemente para realizar análisis sobre el crecimiento de la energía, comparaciones regionales y exámenes sectoriales de la economía.

Isabel Patiño (2016), investigadora colombiana realizó un estudio completo para conocer la evolución de la generación de emisiones de  $CO_2$  desde la perspectiva de la identidad de Kaya (1997), además utilizó la metodología de Alcántara y Roca (1995) para analizar el consumo de energía primaria total por actividad económica industrial. Resultados que le permitió generar información útil para el desarrollo de políticas energéticas ambientales.

Los investigadores chilenos López, Accorsi, & Sturla (2016) estudiaron la huella de carbono sectorial aplicando el enfoque insumo producto y la metodología del Balance Nacional de Energía utilizando la misma técnica de Alcántara y Padilla 2002. Además, estimaron la huella de carbono con los datos del Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero. Los resultados mostraron que entre las dos metodologías de estimación existen diferencias considerables y no llegan a los mismos resultados.

El investigador ecuatoriano Edwin Buenaño (2017) estudió la relación de la economía ecuatoriana y la contaminación ambiental desde el enfoque insumo producto, empleando la metodología de Alcántara y Padilla 2002, los resultados del estudio demostraron que a más de los sectores productivos tradicionalmente considerados como contaminadores, también lo son los sectores: comercio, construcción y servicios administrativos del gobierno.

Arroyo & Miguel (2019), realizaron un estudio sobre los cambios en las emisiones de  $CO_2$  y el posible impacto en el año 2030 en el Ecuador, para el efecto aplicaron dinámica de sistemas y

simularon tres diferentes escenarios BAU (Business as usual) para investigar el efecto que cada componente de la identidad de Kaya tiene sobre las emisiones de  $CO_2$ . La investigación demostró que todos los elementos analizados: población, producto interno bruto, intensidad energética e índice de carbonización influyen directamente en las emisiones de carbono, siendo los sectores transporte y manufactura quienes generan la mayor cantidad de emisiones.

El investigador Colombiano Gustavo Hernández (2021), realizó un estudio para determinar los multiplicadores de las emisiones de gases efecto invernadero mediante la aplicación de la técnica insumo producto y la metodología de Alcántara y Padilla 2002. Como resultado concluyó que se puede construir multiplicadores para identificar los sectores que más generan gas efecto invernadero y su posible efecto sobre el medio ambiente.

Carmelina Bevilacqua (2000), es una investigadora italiana que realizó un estudio sobre residuos sólidos, para el efecto utilizó el enfoque insumo producto, que le permitió estimar la creación de residuos urbanos como consecuencia de la producción de bienes y servicios en la economía siciliana. Para la cuantificación de los residuos utilizó como base las emisiones contaminantes. Con esta información determinó los efectos que la producción genera en los residuos y el efecto de la reducción de residuos en la producción. En este sentido, este trabajo se convirtió en el primer aporte para el estudio de la generación de residuos sólidos a través de la MIP.

Sobre la base de las investigaciones revisadas se pudo apreciar que existen varios estudios sobre estimaciones de gases efecto invernadero, siendo las metodologías preferidas las desarrolladas por Kaya y Alcántara y Padilla, a diferencia de lo mencionado, existen poquísimos estudios y metodologías para estimar o aproximar la generación de residuos sólidos sobre la matriz insumo producto, de hecho solo la investigación de Bevilacqua se podría considerar como la primera línea de trabajo a desarrollar en esta área.

### **3. METODOLOGÍA Y DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO, RESIDUOS SÓLIDOS Y MATERIA PRIMA SECUNDARIA**

#### **3.1 Metodología para la estimación del Balance Nacional Energético (BNE).**

La metodología que se presenta seguidamente fue desarrollada por Alcántara & Padilla (2002) en base a su investigación de 1995 y a una extensión del cálculo desagregado de elasticidad producción/demanda planteado por Pulido y Fontela (1993), para el efecto están considerados como vectores columna, transposición ( $'$ ) y la diagonalización ( $^{\wedge}$ ):

...Sea  $E$  un escalar que expresa la energía final total utilizada en el sistema productivo y  $e'$  un vector fila de energía final por unidad output sectorial. A partir del conocido modelo de Leontief, podemos escribir la siguiente expresión:

$$E = e'x = e'(1 - A)^{-1}y \quad (1)$$

Diferenciando (1) y expresando el incremento de la demanda final como una tasa proporcional de la misma:

$$\Delta E = e' \Delta x = e'(1-A)^{-1} y \alpha \quad (2)$$

En la que  $\alpha$  es el incremento proporcional de la demanda final.

Si ahora definimos un vector de participación de las demandas finales sectoriales en su producción efectiva respectiva, esto es:

$$s = \hat{x}^{-1} y \quad (3)$$

En la que  $\hat{x}$  expresa la diagonalización del vector correspondiente, podemos volver a escribir la ecuación (2) como sigue:

$$\Delta E = e'(1-A)^{-1} \hat{x} s \alpha \quad (4)$$

Dividiendo por  $E$  tenemos:

$$E^{-1} \Delta E = E^{-1} e'(1-A)^{-1} \hat{x} s \alpha \quad (5)$$

Que expresa el incremento energético final total en función del incremento de la demanda final. Es decir, la elasticidad de  $E$  respecto de la demanda final. Esta expresión no nos dice apenas nada dado el carácter lineal del modelo, ya que  $E^{-1} \Delta E = \alpha$ . Lo que nos interesa, pues, es desagregar sectorialmente la elasticidad con el fin de obtener información relevante. Para ello, realizamos algunas transformaciones en la expresión (5).

Sea  $\mathbf{f} = (f_1, f_2, \dots, f_i, \dots, f_n)$  un vector de la distribución de la energía final entre los  $n$  sectores productivos, tal que  $\sum_i f_i = 1$ . El vector de coeficientes de consumo energético sectorial final  $e'$  puede expresarse entonces como sigue:

$$e' = E f' \hat{x}^{-1} \quad (6)$$

Y sustituyendo en (5):

$$E^{-1} \Delta E = f' \hat{x}^{-1} (1-A)^{-1} \hat{x} s \alpha \quad (7)$$

Si ahora tenemos en cuenta (Miller y Blair, 1985; p. 360):

$$\hat{x}^{-1} (1-A)^{-1} \hat{x} = (1-D)^{-1} \quad (8)$$

Donde  $d_{ij} = x_{ij} / x_i$ , es el elemento característico de la matriz de coeficientes horizontales o de distribución de una tabla input-output, sustituyendo en Ec (7) y diagonalizando el vector  $s$  obtenemos:

$$\varepsilon' = f (1-D)^{-1} \hat{s} \alpha \quad (9)$$

Que nos da la variación proporcional del consumo energético sectorial respecto del cambio proporcional de la demanda final. Para interpretar con más detalle esta última conclusión, diagonalizamos el vector  $f'$  y prescindimos de momento de  $\alpha$ , de forma que podemos escribir:

$$E^y = \hat{f}(I-D)^{-1}\hat{s} \quad (10)$$

$E^y_{ij}$ , el elemento característico de la matriz  $E^y$ , expresa el incremento porcentual del consumo de energía final del sector  $i$  ante un cambio del 1% de la demanda final del sector  $j$ , y puede ser interpretado como elasticidad, de tal manera que, la suma de la columna del sector  $j$  expresa la variación porcentual del citado consumo energético experimentado por toda la economía ante un cambio del 1% experimentado por el sector  $j$ . No hace falta demostrar que la suma por filas de esta matriz reproduce la distribución sectorial del consumo energético y es un indicador del impacto que sobre cada uno de los sectores tendrá un incremento global de la economía de un 1%. La suma por columnas tiene una correspondencia con los eslabonamientos hacia atrás (backward linkage) de la perspectiva de Rasmusen (1956) y la suma por filas con los eslabonamientos hacia adelante (forward linkage) de este autor. Sin embargo, nótese que en nuestro planteamiento inciden, como elementos clave del impacto de la demanda en el consumo energético, tanto la estructura de la distribución del producto y la estructura de la demanda como, si atendemos a la expresión (8), la estructura productiva.

El problema que se presenta al momento de implementar la metodología es que no todos los países disponen de suficiente información conforme lo requiere este método, por esta razón, aplicando las recomendaciones de Alcántara, Buenaño y Hernández se realizó una correlación entre los sectores que aparecen en el Balance Nacional de Energía y los sectores de cuentas nacionales, de tal forma que se puede obtener una relación entre las dos fuentes de información y de esta manera obtener el Consumo total de energía por sectores kBEP.

La MIP del Ecuador fue realizada conforme el Sistema de Cuentas Nacionales de Naciones Unidas 2008 y está compuesta por 71 sectores, estos fueron agrupados en 20 grupos sectoriales los más relevantes del sistema económico, de tal forma que permita administrar la información de manera óptima. Esta agrupación sectorial se lo realizó siguiendo las investigaciones de (Ruíz, 2011), (Betancourt & Saucedo, 2015), (Patiño, 2016) y (Buenaño, 2017).

### **3.2 Metodología de estimación de la Huella de Carbono a través de la Matriz Insumo Producto.**

La estimación de la huella de carbono se lo realizó con el enfoque top-down cuya elaboración se lo realiza en base a la información agregada de la matriz insumo producto valorada en unidades monetarias y la información sobre el Consumo total de energía por sectores en toneladas equivalentes de petróleo kBEP, (López, Accorsi, & Sturla, 2016).

López et al (2016), menciona que la información debe estar desagregada la producción doméstica y la demanda final (incluyendo exportaciones) por sector industrial, cada uno representado por un vector  $x$  de dimensión  $[n \times 1]$ .

Además, una matriz  $A$ , de dimensión  $[n \times n]$  que indique los requerimientos de inputs del sector  $j$  por bienes intermedios del sector  $i$ , por unidad monetaria producida en el sector  $j$ .

Una matriz de uso de energía, denominada  $E_{ind}$ , de dimensión  $[m \times n]$  indicando el uso de combustible del  $k$ -ésimo tipo por unidad de output en el sector industrial  $j$ .

Una matriz de uso de energía, denominada  $E_{fd}$ , de dimensión  $[m \times n]$  que contenga el uso por parte de los hogares del  $k$ -ésimo tipo de combustible por unidad monetaria de la demanda final de bienes del sector  $j$ .

Un vector  $c$ , de emisiones de  $CO_2$  por unidad de combustible usado del  $k$ -ésimo tipo.

En base a esta información se puede estimar las emisiones directas e indirectas, a las que el investigador le denomina  $\Omega_\sigma$  y representa el total de las emisiones bajo el enfoque de responsabilidad del productor, este parámetro es la sumatoria de  $\sigma_{ind}$  de las emisiones de los sectores productivos y las emisiones generadas en la demanda final  $\delta_{fd}$  :

$$\Omega_\sigma = \sigma_{ind} + \delta_{fd} \quad (11)$$

$$\delta_{fd} = c' E_{fd} y \quad (12)$$

$$\sigma_{ind} = c' E_{ind} (I - A)^{-1} y \quad (13)$$

Como puede observarse  $(I - A)^{-1}$  corresponde a la matriz de requerimientos totales de Leontief que recoge los efectos multiplicativos directos e indirectos. En conclusión, la estimación de las emisiones de  $CO_2$  se puede estimar con la siguiente expresión:

$$\Omega_\sigma = \sigma_{ind} + \delta_{fd} = c' E_{fd} y + c' E_{ind} (I - A)^{-1} y \quad (14)$$

Siendo la ecuación que permite cuantificar las emisiones a través de la inversa de Leontief y capturar los efectos directos e indirectos de emisiones de  $CO_2$  en el proceso productivo, (López, Accorsi, & Sturla, 2016).

Como ya se mencionó en el acápite anterior, como requiere la metodología muy pocos países disponen esta información, lo normal es encontrar cortas series de datos y no organizados, por esta razón se utilizó el mismo criterio de correlación, es decir se enlazó las dos fuentes de información y de esta manera se obtuvo la Huella de Carbono por sectores en miles de toneladas de dióxido de carbono equivalente kton  $CO_2$  eq, (Betancourt & Saucedo, 2015), (Patiño, 2016) y (Buenaño, 2017).

### 3.3 Metodología de Estimación Sectorial de Residuos Sólidos en base a la Huella de Carbono.

Con los resultados sectoriales y de participación de la huella de carbono se procedió a implementar la metodología conforme recomienda Carmelina Bevilacqua (2000). Para la estimación de los Residuos Sólidos Sectoriales se utilizó la siguiente información:

Un vector  $X$  de dimensión  $[n \times 1]$  con los coeficientes anuales de  $CO_2$  sectoriales.

Un escalar con la estimación anual de residuos sólidos  $K_{RS}$ .

Una matriz  $A$  de coeficientes sectoriales de dimensión  $[m \times n]$  de consumo intermedio.

Un vector  $Y$  de dimensión  $[n \times 1]$  con los coeficientes sectoriales de demanda final.

En función de esta información se procedió a estimar la matriz con los residuos sólidos por sector de consumo intermedio y demanda final, donde:

$K_T$  Residuos totales generados en el consumo intermedio y demanda final.

$K_{CI}$  Residuos generados en el consumo intermedio.

$K_{DF}$  Residuos generados en la demanda final.

$$K_{CI} = K_{RS} * A \quad (15)$$

$$K_{DF} = K_{RS} * Y \quad (16)$$

$$K_T = K_{CI} * K_{DF} = K_{RS} * A + K_{RS} * Y \quad (17)$$

Esta última expresión permite estimar y capturar los efectos directos e indirectos de los residuos sólidos en el proceso productivo y en la demanda final y está organizada por sector, pudiendo realizarse simulaciones y evaluaciones de política.

### 3.4 Metodología para la simulación sectorial de Materia Prima Secundaria.

Para evaluar el impacto que el consumo de materia prima secundaria tiene sobre la producción, consumo de energía, huella de carbono y residuos sólidos se procedió a realizar el siguiente procedimiento:

1.- Se identificó y cuantificó el volumen de materia prima reciclada o secundaria por sector que se insume en el consumo intermedio.

2.- Se realizó la resta de las matrices de MIP sectorial de consumo intermedio y MIP sectorial de residuos sólidos del consumo intermedio.

3.- Se incrementó dos filas y dos columnas a la Matriz de insumos sectoriales libre de residuos, la primera columna y fila contiene la generación total de residuos sólidos y la segunda fila y columna la materia prima secundaria sectorial. Con el fin de no duplicar el uso de materia prima secundaria se restó del consumo de la industria este costo, a fin de que aparezca visiblemente en un renglón exclusivo como una variable exógena.

4.- Para estimar la matriz inversa de Leontief  $(I - A)^{-1}$ , la materia prima secundaria considerada como variable exógena se sumó al valor agregado  $v_c$  como una variable de pago a otros sectores. Pero el interés de esta investigación es evaluar el impacto de la materia prima secundaria a través del modelo de Leontief con la siguiente expresión:

$$p' = (I - A)^{-1}v_c = L'v_c \quad (18)$$

Donde:

$p'$ .- es el vector de pagos totales.

$L'$ .- matriz inversa de Leontief.

$v_c$ .- vector valor agregado.

Para la estimación del año base se utilizó la siguiente expresión:  $\tilde{p}^0 = (L^0)'v_c^0$  y para la simulación  $\tilde{p}^0 = (L^0)'v_c^1$ , donde  $v_c^1$  recoge la variación de la exógena, en este caso de la materia prima secundaria, cumpliendo la meta de reciclaje propuesta en la Agenda 2030.

En base a los resultados obtenidos se simuló en las MIP de: producción (intermedia y final), Demanda de energía, Emisiones de gas efecto invernadero y Generación de residuos sólidos, el incremento de materia prima secundaria y por diferencia entre el escenario base y los resultados de la simulación se obtuvieron los impactos sobre las cuatro variables analizadas.

### 3.5 Fuente de Datos.

La información de la Matriz Insumo Producto 2019 se lo obtuvo del Banco Central del Ecuador 2021. La demanda y oferta de energía y las Emisiones de gas efecto invernadero corresponden al Balance Energético Nacional 2019 elaborado por el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. Los datos estadísticos de los residuos sólidos y la información de la demanda de materia prima secundaria corresponden al Ministerio del Ambiente, Programa Nacional de Gestión de Residuos Sólidos y de la Iniciativa Regional para el Reciclaje Inclusivo, 2019. También algunos datos estadísticos relevantes se extrajeron de Segura, Rojas, & Pulido (2020).

## 4 EVIDENCIA EMPÍRICA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Generación de Residuos Sólidos Sectoriales.

Uno de los principales problemas ambientales que al momento se discute en el Ecuador, corresponde a los impactos negativos que genera la inadecuada gestión de residuos sólidos. En el año 2019 se generaron diariamente 14.454 toneladas de residuos, dando un aproximado de 5.29 millones de toneladas al año, siendo las ciudades más pobladas y con mayor desarrollo económico las que produjeron el porcentaje más alto de residuos sólidos, 48%.

En la tabla 1 se puede apreciar que el tamaño de la población está directamente relacionado con la producción de residuos. Al haber una mayor cantidad de personas demandan un volumen más grande de recursos, consumen más energía y emiten más  $CO_2$ .

Tabla.1 Producción de Residuos Sólidos por año

año	Residuos sólidos	Población	RS Per cápita	Ingreso Per cápita
2010	3.89	15.01	0.71	4,634
2011	4.07	15.27	0.73	5,201
2012	4.14	15.52	0.73	5,682
2013	4.26	15.77	0.74	6,056
2014	5.03	16.03	0.86	6,377
2015	5.23	16.28	0.88	6,124
2016	5.37	16.53	0.89	6,060
2017	5.27	16.78	0.86	6,214
2018	5.34	17.02	0.86	6,296
2019	5.29	17.27	0.84	6,223

Fuente: Los datos de residuos sólidos son del Programa Nacional de Gestión de Residuos Sólidos, 2020, MAE y en están en millones de toneladas; los datos de población corresponden al INEC 2020 y están en millones de habitantes; y el Ingreso Per cápita corresponde fuente del Banco Mundial, 2021.

Además, la tabla presenta cinco series estadísticas que van desde el año 2010 al 2019, en la que se puede apreciar que el PIB per cápita mantuvo un efecto positivo sobre la generación de residuos sólidos, debido a que al haber más ingresos en la población pueden adquirir una mayor cantidad de bienes y servicios y a su vez generar mayor presión sobre la intensidad de residuos y  $CO_2$ . Es evidente que existe una relación directa entre la producción de residuos sólidos y la ciclicidad de la actividad económica.

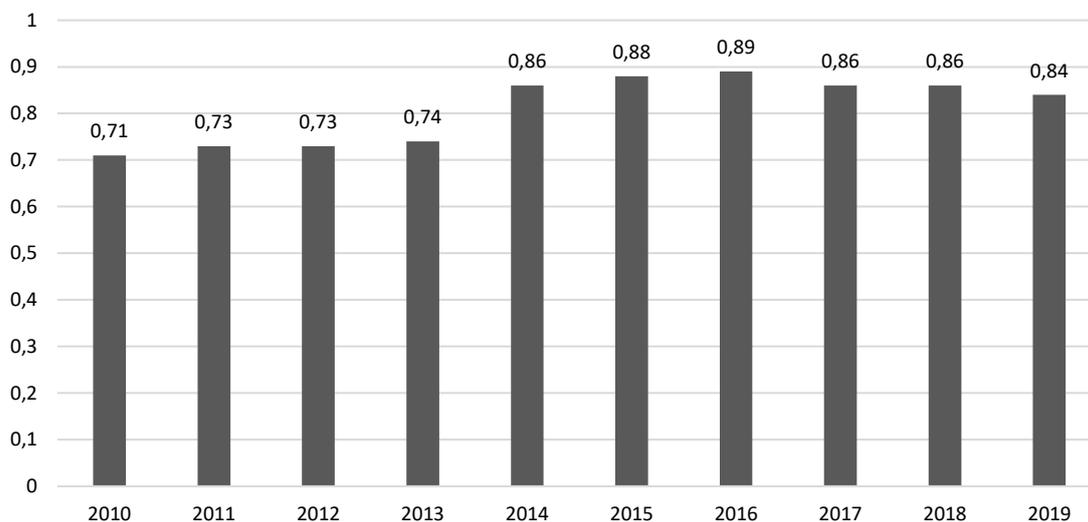
En el último quinquenio el Ecuador atravesó un largo proceso de recesión económica debido a la caída de los precios de los commodities y la desaceleración de la economía China, dado su dependencia en la venta de petróleo y el acceso a financiamiento. Crisis que afectó a la producción y consecuentemente el consumo interno, cayendo el empleo y el ingreso per cápita. Esta desaceleración de la economía frenó la demanda de insumos de la producción y

consecuentemente la demanda de energía, emisiones de  $CO_2$  y la generación de desechos, aunque este efecto en la literatura económica no es muy estudiado y por esta razón por el momento no existe suficiente evidencia científica sobre relaciones de causalidad de corto plazo entre la generación de residuos y actividad económica.

Es importante mencionar que con corte al año 2019 la tasa de crecimiento per cápita de los residuos sólidos muestra un desacoplamiento con la tasa de crecimiento de la población, generándose un pequeño ahorro de residuos, aunque este fenómeno más bien se esperaba ocurra con la tasa de crecimiento del ingreso per cápita.

Este efecto mencionado prueba que la generación per cápita de residuos sólidos también depende de otras variables adicionales que no son muy fáciles de observar, por ejemplo: hábitos de consumo y conciencia ecológica, (Taboada , Armijo , Aguilar, Ojeda , & Aguilar, 2009).

Gráfico 1 Producción Per cápita de residuos (Kg/hab/día)



Fuente: Programa Nacional de Gestión de Residuos Sólidos, 2020, MAE.

El gráfico 1 muestra la tendencia creciente, irregular no constante de la generación per cápita de residuos sólidos, alcanzando su máximo en el 2016, año que coincide con el cambio de política económica, ambiental, productiva y marca el inicio de un largo periodo de recesión económica.

A partir de este año la economía mantuvo un débil crecimiento del sector productivo pero un alto endeudamiento público, causas que al año 2019 registró una fuerte contracción del sector manufacturero, de tal forma que el porcentaje de participación del PIB de servicios fue más alto que el manufacturero. En este contexto y periodo se produjeron 5.29 millones de toneladas de residuos sólidos al año, de este total, el 61.4% corresponde a residuos orgánicos, 9.4% papel y cartón, 11% PET, 2.6% vidrio, 2.2% chatarra y 13.3% otros residuos, pero solamente el 25% de los residuos son potencialmente reciclables, Programa de Gestión de Residuos Sólidos (2020).

Ahora bien, aplicando la metodología de Alcántara y Padilla (2002) para la estimación de gas efecto invernadero y Bevilacqua (2000) para los Residuos Sólidos Sectoriales, se pudo estimar y obtener información desagregada por sector económico. Considerando que la matriz insumo producto está valorada en dólares se procedió a calcular en toneladas los desechos sólidos dividiendo el resultado obtenido para el costo promedio de la tonelada que cobran los Municipios en América Latina.

La tabla 2 recoge los 20 grupos sectoriales más representativos del sistema económico ecuatoriano.

Tabla.2 Emisiones GEI y Residuos Sólidos por sector económico, en millones de toneladas

Sectores	Emisiones GEI en kton CO <sub>2</sub> eq.	Residuos sólidos en ton/año
1 Agricultura, silvicultura, ganadería y pesca	3.88	0.44
2 Petróleo y minería	2.91	0.33
3 Minería	0.13	0.01
4 Procesamiento y conservación de carne, camarón y especies acuáticas	2.97	0.34
5 Alimentos, bebidas y tabaco	2.77	0.31
6 Textiles, prendas de vestir, cuero y calzado	0.52	0.06
7 Madera	0.34	0.04
8 Papel	0.26	0.03
9 Industria química, del plástico y hule	1.88	0.21
10 Minerales no metálicos	0.36	0.04
11 Metálica básica, maquinaria y equipo	1.35	0.15
12 Otras industrias manufactureras	0.50	0.06
13 Electricidad y agua	0.98	0.11
14 Construcción	6.07	0.69
15 Equipo de transporte	3.71	0.42
16 Hoteles y restaurantes	1.26	0.14
17 Transporte, comunicación e información	3.68	0.42
18 Servicios financieros, seguros y bienes inmuebles	3.55	0.40
19 Instituciones	9.28	1.05
20 Otros servicios	0.18	0.02

Fuente: Cálculos propios a partir de la metodología de Alcántara & Padilla (2002).

Los datos están expresados en millones y presentan las emisiones de gas efecto invernadero que sirvió de base para la cuantificación de los residuos sólidos sectoriales. De estos los cinco más grandes generadores de residuos produjeron el 57.2% de desechos en el año 2019:

Tabla.3 Los 5 sectores que mayor cantidad de residuos sólidos generan por año

Sectores	Residuos sólidos en millones de ton/año	%
1 Instituciones	1.05	19.9%
2 Construcción	0.69	13.0%
3 Agricultura, silvicultura, ganadería y pesca	0.44	8.3%
4 Equipo de transporte	0.42	8.0%
5 Transporte, comunicación e información	0.42	7.9%
6 Los demás	2.27	42.8%

Fuente: Cálculos propios.

Además, presenta de mayor a menor a los sectores económicos de forma agregada, muestra que el sector “Instituciones” es el mayor generador de residuos con 19.9%. En este grupo están incluidos las industrias dedicadas a Actividades profesionales, técnicas y administrativas, Administración pública, defensa, Planes de seguridad social obligatoria, Servicios de enseñanza privado, Servicios de enseñanza público (no de mercado), Servicios sociales y de salud privado, Servicios sociales y de salud no de mercado, Servicios de asociaciones y Esparcimiento, culturales y deportivos, que insumen y demandan el 19.6% de la Utilización total, en relación al PIB demandan el 21% y emiten 463.845,7 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes y es el grupo que mantiene el mayor efecto arrastre en la demanda final.

Le sigue el sector de la “Construcción” con 13% de residuos y demanda el 11.1% del PIB. Este sector por su giro económico siempre va a ser uno de los más grandes contaminadores y productores de residuos. Su mayor presencia lo mantiene en la demanda final con 16.1% y tiene un efecto arrastre fuerte sobre varias industrias del consumo intermedio que dependen de su dinamismo, por esta razón emite una alta cantidad de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes, 303.438.9 kton CO<sub>2</sub> eq.

Unificando los sectores Equipo de transporte y Transporte, comunicación e información, se puede apreciar que estos generan el 16% de residuos, insumen y demandan el 17% de la Utilización total, demandan el 9% del PIB, mantienen un fuerte efecto arrastre en el consumo intermedio y emiten 369.343.21 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes.

El Sector “Agricultura, silvicultura, ganadería y pesca” genera el 8.3% de residuos, insume y demanda el 9.2% de la Utilización total y demanda el 7.1% del PIB, aunque mantiene un amplio inter relacionamiento sectorial en el consumo intermedio, es en la demanda final donde su presencia es fuerte y por esta razón emite 194.145.1 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

Los demás sectores producen el 42.8% de los residuos y emiten 997.485.60 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes.

Agrupando las industrias por sectores primario, manufacturero y servicios se aprecia que la mayor cantidad de residuos sólidos y emisiones de gases efecto invernadero son:

Tabla.4 Análisis de generación de residuos sólidos y GEI por sectores

Sectores de la Economía	Residuos sólidos en Ton/año	%	Emisiones GEI por Residuos Sólidos en kton CO <sub>2</sub> eq.
Primario	0.79	15%	345,948
Secundario	1.24	23%	547,030
Terciario	3.26	62%	1,435,281

Fuente: Cálculos propios.

Con corte al año 2019, el sector servicios se convirtió en el mayor generador de residuos sólidos y emisor de gas efecto invernadero al ambiente, este fenómeno se explica por la crisis externa y financiera que generó elevados costos económicos y sociales generados en el último quinquenio. A partir del año 2014 el consumo de energía gradualmente fue disminuyendo, pasando de 75.1 mil toneladas equivalentes a 61.4 mil toneladas equivalentes en el año 2019, (MERNNR, 2019). Además, dejó ver la debilidad y fragilidad externa del sector manufacturero y agrícola, que en menos de cinco años perdió rentabilidad y competitividad, se contrajo el empleo y debilitó las posibilidades de desarrollo económico del país, (Frenkel & Rapetti, 2020).

Sin embargo, a pesar de la caída de la actividad económica y la contracción del sector manufacturero, la tasa de crecimiento de generación de residuos sólidos y las emisiones de gas efecto invernadero se mantuvo. Durante el año 2019 se generó 5.3 millones de toneladas de residuos al año y se emitió 46.6 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes, de este último valor 2.3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes fue productos de los residuos sólidos enviados a los rellenos sanitarios, de los cuales se logró recuperar menos del 5% vía reciclaje.

#### 4.2 Materia Prima Secundaria.

En el Ecuador se habla de reciclaje desde 1970. A partir de este año entró en operación la primera fábrica de papel cuyo insumo principal fue la materia prima reciclada o secundaria. En 2019 se recolectaron 12.671 toneladas de residuos sólidos al día, de las cuales el 86.5% se recolectó de manera no diferenciada y el restante 13.5% de forma diferenciada. Este último porcentaje corresponde a 1.707 toneladas y está compuesto por el 64.5% de residuos inorgánicos y 35.5% orgánicos, INEC (2020).

Los investigadores Aguilar, Armijo, & Taboada (2010) consideran que el porcentaje de residuos que pueden ser reciclados está en el rango entre el 71% al 86.7%. De este grupo, son residuos orgánicos entre el 67% al 87% y residuos inorgánicos entre el 12.7% al 33%. A diferencia Soliz, Durango, Solano y Yépez (2020) consideran que para el caso del Ecuador los promedios estarían en 90.8% residuos reciclables y 9.2% no reciclables, siendo del primero 55.6% residuos orgánicos y 44.3% inorgánicos, apreciándose mucha diferencia con los promedios de la región y del mundo.

Los primeros promedios de residuos son confirmados en las investigaciones de Armijo, Ojeda, Ramírez, & Quintanilla (2006) y Ojeda, Armijo, & Ramírez (2002).

Es decir, una parte de la demanda de materia prima proveniente de residuos reciclados en el consumo intermedio y final estaría sujeta a la restricción de la posibilidad de ser reutilizada o devuelta a un nuevo proceso productivo que se realiza en el consumo intermedio. En este sentido la demanda de materia prima secundaria estaría en función del nivel de consumo final, el posible ingreso de nuevos proyectos industriales intensivos en uso de materia prima secundaria, cambios en los gustos de los consumidores y la política gubernamental de reciclaje.

De acuerdo al último reporte sobre reciclaje elaborado por el INEC 2020, participan de manera directa más de 50.000 trabajadores, 3.200 empresas demandan materia prima secundaria en el sector formal y generan una producción bruta superior a los 222 millones de dólares y mantienen una balanza comercial basada en importación y exportación de materia prima secundaria.

Con corte al año 2014, la Iniciativa Regional para el Reciclaje Inclusivo (IRR) (2015) reportó que en el Ecuador se recicló 655.294 toneladas de residuos, de los cuales el 62% fue chatarra, 28% papel y cartón y 9% entre plástico y vidrio. Todo este recurso transformado en materia prima secundaria fue absorbido por la industria manufacturera. Por su parte los industriales informaron que el mercado interno no abastece la demanda y que por esa razón importaron el 40% de la materia prima reciclada, especialmente residuos de papel, cartón y chatarra y se exportó 3.247 toneladas de residuos industriales del sector petrolero, Petroecuador (2020), conformándose de esta manera la balanza comercial de residuos del Ecuador.

De acuerdo al Programa Nacional de Desechos Sólidos (PNGIDS-MAE) y la Información Ambiental recogida por el INEC 2020, en el país se generaron cerca de 5.3 millones de toneladas de residuos al año, de este total el 25% es potencialmente reciclable. En base al comportamiento porcentual de los residuos reciclables y la balanza comercial levantada en el año 2019 los residuos estuvieron clasificados de la siguiente manera:

Tabla.5 Estimación Materiales reciclados año 2019 sin Importaciones

Concepto	Toneladas	Tasa %
Residuos reciclados al año	689,595	
Papel y Cartón	192,428	28%
PET plástico tereftalato de polietileno	16,062	2%
Plástico duro y suave	21,662	3%
Vidrio	26,743	4%
Chatarra	429,356	62%
Equipos electrónicos	3,343	0%

Fuente: Estimación del autor en base a información del Ministerio del Ambiente, Programa Nacional de Gestión de Residuos Sólidos y La Iniciativa Regional para el Reciclaje Inclusivo.

Según las fuentes de información IRR y el PNGIDS-MAE consideran que los promedios del comportamiento del reciclaje interno sin incluir importaciones para el año 2019,

corresponderían los valores que se muestran en la tabla 5, los mismos que son demandados en su totalidad por cinco sectores manufactureros:

Tabla.6 Utilización de materia prima reciclada por sector año 2019

Sectores		Materia Prima Secundaria (Ton)	
		Nacional	Importación
1	Papel y cartón	192,428.44	168,369.75
2	Industria química, del plástico y hule	37,723.88	102,677.71
3	Minerales no metálicos	26,743.16	-
4	Metálica básica, maquinaria y equipo	429,356.28	189,421.89
5	Otras industrias manufactureras	3,342.90	-
Total		689,594.66	460,469.35

Fuente: Estimación del autor en base a información de La Iniciativa Regional para el Reciclaje Inclusivo.

El sector Papel y cartón reporto que adquirió a las empresas recicladoras el 53,3% de materia prima secundaria y la diferencia importó. En base a esta información se advierte que es posible incrementar el volumen de reciclaje y de esta manera disminuir las importaciones de residuos.

La industria química del plástico y hule demandó y adquirió el 31% de materia prima secundaria y el resto importó. A pesar de la aplicación de la política ambientalista para incentivar el reciclaje de botellas aún los resultados son de bajo impacto.

El sector de minerales no metálicos demandó residuos de vidrio y adquirió en el mercado interno el 100% de la producción de materia prima secundaria y no se registró información sobre importaciones.

El sector Metálica básica, maquinaria y equipo adquirió el 69% de la materia prima secundaria en el mercado interno y el 31% importó de Centro América.

Las industrias que están agrupadas en el sector Otras industrias manufactureras principalmente demandaron residuos tecnológicos y adquirieron en el mercado interno el 100% de materia prima secundaria. No hay registro de información sobre balanza comercial en este producto.

El volumen total de materia prima secundaria insumida por el sector manufacturero es de 1.150.064 toneladas, de los cuales el 60% es producto del reciclaje realizado en el mercado interno y el restante 40% corresponde a importaciones. Al comparar el volumen reciclado con el total de residuos a nivel nacional corresponde al 13%, cuyo porcentaje es similar al calculado por Segura, Rojas y Pulido, (2020), cuya información muestra que estamos frente a un mercado en desarrollo, cercano al promedio mundial 13.5% y muy por encima al promedio de América Latina 4.5%, pero muy lejos de los países referentes de Europa.

## Valoración económica de materia prima secundaria

Una vez que se conoce la generación total por tipo de residuos con posibilidad de reciclaje expresado en toneladas es posible determinar el valor por tonelada de cada tipo de materia prima secundaria. De acuerdo a Acoplásticos 2020 de Colombia el precio de la materia prima secundaria estaría en función del grado de desarrollo de los mercados de materias primas recicladas y el crecimiento de la demanda de productos terminados en base a esta materia prima. Por otro lado, los investigadores Gutamba y Ramírez (2016) consideran que el precio de cada tonelada de residuo reciclado está en función del Costo de Recolección, Clasificación y Operación más un margen de ganancia, siendo esta metodología la más aceptada y coherente con la formación de precios.

En varios países de la región latinoamericana se identificó que los precios promedios de las materias primas secundarias se forma en función de la cantidad de prestadores que proporcionan información a la autoridad reguladora sobre los precios que se alcanzan en el mercado de reciclaje. Aunque ningún informante menciona la metodología de formación de los tres costos mencionados por Gutamba y Ramírez (2016), quizá por el grado de informalidad con el cual se realiza el reciclaje y venta de materias primas. Por su parte el Ministerio de Ambiente del Ecuador considera que a más de lo mencionado, la formación de los precios también estaría en función de la calidad del producto, la dinámica económica, la heterogeneidad de los precios y las condiciones del mercado, por esta razón mantiene una lista de precios actualizados para el mercado interno.

Conforme el Sistema de Cuentas Nacionales de las Naciones Unidas (2008) y el Sistema de Contabilidad Ambiental Económica de Naciones Unidas (2012), la medición monetaria de la materia prima reciclable es posible realizarla dado que tiene un mercado. Por esta razón la transformación se lo realizó en función de los precios que la autoridad reguladora de precios oficial publicó.

Tabla.7 Materia prima reciclada en dólares por sector año 2019

Sectores	Materia Prima Secundaria	
	Toneladas	En dólares USD
1 Papel y cartón	360,798	32,471,837
2 Industria química, del plástico y hule	140,402	58,768,096
3 Minerales no metálicos	26,743	2,139,453
4 Metálica básica, maquinaria y equipo	618,778	176,351,779
5 Otras industrias manufactureras	3,343	300,861
Total	1,150,064	270,032,025

Fuente: Cálculos propios del autor en base a información del PNGIDS-MAE y IRR.

La tabla 7 muestra la producción de materia prima reciclada valorada en dólares, cuyo fin macrocontable permitirá monetariamente incorporar la materia prima secundaria a la matriz insumo producto.

Con el análisis efectuado hasta aquí, se puede asegurar que la demanda total de materia prima secundaria es posible ingresarla a la contabilidad de la demanda agregada y a la producción en términos de precios para su posterior simulación y evaluación de las políticas públicas.

## 5 ANÁLISIS DE CUMPLIMIENTO DE LA META DE RECICLAJE DEL OBJETIVO 12 DE LA AGENDA 2030 DE DESARROLLO SOSTENIBLE

### 5.1 Línea de base.

El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 12 de la Agenda de Naciones Unidas busca promover modalidades de consumo y producción sostenibles, en este contexto los países firmantes del acuerdo acordaron cumplir metas intermedias e indicadores con corte al año 2025, en esta fecha se deberá haber alcanzado el 42% de reciclaje e insumido por la industria en nuevos procesos productivos.

Para cumplir este compromiso el Ecuador debe por un lado asegurar la senda del crecimiento económico sostenido, cambiar la matriz energética por fuentes renovables limpias, modificar la huella material generada por la intensa extracción de recursos naturales y en este escenario disminuir las emisiones de gases efecto invernadero, incrementar la cultura ambiental y fomentar el reciclaje.

Frente a esta responsabilidad, a cuatro años de la firma del compromiso con la ONU al país no le ha ido tan bien económicamente y por ende se presenta una situación compleja para cumplir los objetivos acordados. A finales del año 2019 debido a fuertes choques externos sobre la producción afectó el empleo y la demanda externa, contrayendo el PIB en 9% y 10% en los componentes de la demanda agregada, CEPAL (2020). Estas causas repercutieron negativamente en el sector industrial, exportador y en la calidad de vida de la población. A pesar de estos problemas, el Ecuador reportó a las Naciones Unidas que había cumplido la meta de disminución de gas efecto invernadero.

Con corte al 31 de diciembre de 2019 y utilizando la metodología de Alcántara y Padilla (2002) para la estimación de gas efecto invernadero y Bevilacqua (2000) para los residuos sólidos, se presenta en la tabla 8 el comportamiento de los principales indicadores utilizados en la evaluación de los ODS:

Tabla.8 Línea de Base, datos de la producción, consumo de energía, generación de GEI y RS

<b>Año 2019</b>	<b>Total</b>	<b>Unidad de medida</b>
Producción (intermedia y final)	178,421,398.0	Miles USD
Demanda de energía	94,434.3	Ktoe
Emisiones GEI	46,565,169.3	kton CO <sub>2</sub> eq
Generación Residuos Sólidos	264,718.2	Miles USD
Generación Residuos Sólidos	5,294.4	Miles Ton/año

Fuente: Cálculos propios del autor en base a los resultados presentados

Los resultados de esta primera evaluación muestran que la Generación de Residuos Sólidos nacional fue 5.3 millones de toneladas valoradas en USD 267.7 millones de dólares. Cálculo que fue estimado en función del PPC de residuos 0.84, tamaño de la población 17.2 millones de habitantes y el costo promedio de recolección de basura en el país USD 50 dólares.

Tomando como referencia la investigación de la Iniciativa Regional para el Reciclaje Inclusivo (2015) más los datos del Programa Nacional de Gestión de Desechos Sólidos del Ministerio del Ambiente (2020), se procedió a estimar el valor al 2019 de la línea de base de la materia prima secundaria. Este mercado nacional sin incluir las importaciones es el 19.5% del mercado potencial de reciclaje de residuos para Ecuador.

Este tamaño es muy pequeño, porque la meta que hay que cumplir es el 42% del mercado potencial de reciclaje y para lograrlo es necesario que los esfuerzos se incrementen en al menos 36.2% más.

Esta estimación se obtuvo aplicando la metodología de Leontieff sobre los resultados sectoriales de residuos.

Tabla.9 Información para simulación de cumplimiento de meta de reciclaje 42%

<b>Año 2019</b>	<b>Total</b>	<b>Unidad de medida</b>
Producción libre de residuos	178,156,679.8	Miles USD
Generación de Residuos Sólidos	264,718.2	Miles USD
Producción Bruta Pb	178,421,398.0	Miles USD
Materia Prima Secundaria	689.3	Miles Ton/año
Línea de base consumo de MPS 2019 (%)	19.65%	Porcentaje
Incremento consumo de MPS - ODS (%)	36.2%	Porcentaje

Fuente: Cálculos propios del autor en base a los resultados presentados

La tabla 9 muestra la información de la línea de base que será aplicada en la evaluación sobre el PIB, consumo de energía, emisión GEI y generación de residuos sólidos. Estas variables fueron seleccionadas dado que la inserción de materia prima secundaria en el consumo intermedio generará obligatoriamente nuevos incrementos e impactos.

## **5.2 Resultados sobre la Producción, Energía, Huella de Carbono y Residuos Sólidos.**

Corriendo la simulación con el incremento del 36.2% al mercado de reciclaje se tiene que todos los sectores productivos deben demandar e insumir en sus procesos productivos materia prima secundaria.

Los resultados muestran que para lograr cumplir el objetivo 12 de la agenda 2030 de Naciones Unidas debemos incrementar los esfuerzos de reciclaje interno al doble, desarrollando el mercado nacional, deteniendo las importaciones de materia prima reciclada y generando la cultura ambiental.

Tabla.10 Resultados de la simulación de cumplimiento de meta de reciclaje 42%

<b>Resultados de la Simulación 1 (miles/ton)</b>		<b>LdB 2019</b>	<b>Incremento de MPS por ODS</b>
<b>Sectores</b>			
1	Agricultura, silvicultura, ganadería y pesca	-	18.2
2	Petróleo y minería	-	13.9
3	Minería	-	2.1
4	Procesamiento y conservación de carne, camarón y especies acuáticas	-	6.4
5	Alimentos, bebidas y tabaco	-	7.0
6	Textiles, prendas de vestir, cuero y calzado	-	2.6
7	Madera	-	6.1
8	Papel	192.4	108.6
9	Industria química, del plástico y hule	37.7	77.8
10	Minerales no metálicos	26.7	30.2
11	Metálica básica, maquinaria y equipo	429.4	402.8
12	Otras industrias manufactureras	3.3	19.2
13	Electricidad y agua	-	18.6
14	Construcción	-	7.1
15	Equipo de transporte	-	12.2
16	Hoteles y restaurantes	-	1.8
17	Transporte, comunicación e información	-	18.9
18	Servicios financieros, seguros y bienes inmuebles	-	9.6
19	Instituciones	-	26.8
20	Otros servicios	-	-
		689.6	789.7

Fuente: Cálculos propios del autor en base a los resultados presentados

La tabla 10 presenta a los sectores manufactureros como las principales industrias que deben desarrollar el mercado de reciclaje. Según los resultados de la evaluación este sector empresarial deberá incrementar su demanda de materia prima secundaria en 84%, seguido por servicios 12% y exige al sector primario demande en su proceso productivo al menos el 4%.

Si se quiere desarrollar el enfoque de economía circular es necesario que todo el tejido empresarial del país se alinee a la propuesta de consumo de materia prima secundaria y en este contexto se genere una nueva cultura de consumo y de responsabilidad del empresario.

Concomitante, la tabla 11 muestra los resultados del nuevo escenario y el impacto sobre las variables seleccionadas:

Tabla.11 Resultados de la simulación sobre las variables seleccionadas

<b>Año 2019</b>	<b>Total</b>	<b>Unidad de medida</b>
Producción (intermedia y final)	178,537,545.3	miles de dólares
Demanda de energía	104,300.4	Ktoe
Emisiones Gas Efecto Invernadero	46,595,289.6	kton CO <sub>2</sub> eq
Generación de Residuos Sólidos	264,875.8	miles de dólares

Fuente: Cálculos propios del autor en base a los resultados presentados

El cumplimiento de la meta de reciclaje genera sobre la variable Producción un incremento aproximado de USD 116 millones de dólares, cuyo efecto directo aplica sobre el consumo intermedio y la demanda final. Para atender este incremento de la producción, los sectores empresariales deberán aumentar la demanda de energía en 9.866 barriles equivalentes de petróleo. Emitir aproximadamente 30 millones de toneladas de gas efecto invernadero, y nuevamente generar 157 mil toneladas de residuos sólidos anualmente.

### **5.3 Conclusiones.**

La investigación aquí presentada expone los resultados de la evaluación del cumplimiento de la meta de reciclaje acordada para el Ecuador, este análisis se lo realizó en base a una metodología de aplicación y reconocimiento internacional para la estimación de las emisiones de gas efecto invernadero y generación de residuos sólidos.

La comparación de resultados se lo realizó confrontando la línea de base de la producción, demanda de energía, emisión de gas efecto invernadero y generación de residuos sólidos contra las estimaciones de la simulación bajo el criterio de cumplimiento de la meta de reciclaje y el consumo del 42% de materia prima secundaria.

Queda en evidencia que para el cumplimiento del objetivo 12 de la Agenda 2030, todos los sectores empresariales deben demandar e insumir materia prima secundaria, pero el mayor esfuerzo debe hacerlo el sector manufacturero demandando e insumiendo al menos el 84%.

Finalmente, menciono encarecidamente que este estudio busca ser un insumo adicional para comprender la generación de residuos sólidos y el reciclaje. Advertido está que se debe complementar con nuevos datos en otras investigaciones y desarrollar la metodología aquí propuesta.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Bibliografía

- Alcántara, V. (julio de 2007). Análisis Imput-Output y Emisiones de CO2 en España: Un Primer Análisis para la Determinación de Sectores Clave en la Emisión. *Documento de Treball*, 1-20.
- Alcántara, V., & Padilla, E. (2002). Nota metodológica sobre la determinación de sectores “clave” en el consumo de energía final: una primera aproximación al caso español. *Working Papers*(5), 1-18.
- Alcántara, V., & Padilla, E. (2009). Determinantes del Crecimiento de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en España (1990-2007). *Document de Treball*, 1-19.
- Alcántara, V., & Padilla, E. (2010). Determinantes del crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero en España (1990-2007). *ResearchGate*, 1-19.
- Ang, B., & Zhang, F. (2000). A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy Economics*, 25, 1149-1176.
- Arias, Y. (2015). *Determinantes de la Generación de Residuos Sólidos de ocho Municipios del Departamento del Atlántico 2007-2013. Un análisis de caso*. Bogotá: Universidad de La Salle.
- Arroyo, F., & Miguel, L. (2019). Análisis de la Variación de las Emisiones de CO2 y Posibles Escenarios en Ecuador. *Espacios*, 40(13), 5-25.
- Banco de Desarrollo de América Latina CAF. (2018). *Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos. Oportunidades en América Latina*. Buenos Aires: Estudio Bilder.
- Betancourt, Y., & Saucedo, E. (2015). *Efectos de la Aplicación de un Impuesto Ambiental al CO2 en México: Análisis mediante un Modelo Insumo Producto*. Veracruz: Universidad Veracruzana.
- Bevilacqua, C. (2000). *Economic Impact Of Solid Waste Management On The Sicilian Economy: An Integrated Environment*. Miln: Università degli Studi di Reggio Calabria.
- Buenaño, E. (2017). *Actividad Económica y Emisiones de CO2: Ensayos Empíricos para el Ecuador*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Cajamarca, E., Bueno, R., & Jimbo, J. (2019). From zero to cash: Waste as a main source for an inclusive recycling business in Cuenca (Ecuador). *RETOS. Revista de Ciencias de la Administración y Economía*, 9(17), 71-87.
- Campo, R., & Olivares, W. (2013). Relación entre las emisiones de CO2, el Consumo de Energía y el PIB: El caso de los CIVETS. *Semestre Económico*, 45-66.
- Castillo, J., & Pino, O. (2014). Derivación de Matriz de Energía Inversa (12\*12) Nacional, Periodo 2014: Análisis de Impacto y Clasificación de Sectores. *Horizontes Empresariales*(1), 51-68.
- CEPAL. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Santiago: Publicación de las Naciones Unidas.
- Chisari, O., Maquieyra, J., & Miller, S. (2012). *Manual sobre Modelos de Equilibrio General para Economías de LAC con énfasis en el Análisis Económico del Cambio Climático*. Washington DC: Banco Interamericano de Desarrollo.
- COTEC para la Innovación. (2017). *SITUACIÓN Y EVOLUCIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN ESPAÑA*. Madrid: [www.doscerebrados.com](http://www.doscerebrados.com) (David García Rincón).

- Eichner, T., & Pethig, R. (2003). Corrective Taxation for Curbing Pollution and Promoting Green Product Design and Recycling. *Environmental and Resource Economics*(25), 477-500.
- FORETICA. (2020). *INFORME DE FORETICA SOBRE LA MEDICIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR*. Barcelona: <https://eco-circular.com/autor/patricia/>.
- Frenkel, R., & Rapetti, M. (2020). Fragilidad externa o desindustrialización: ¿Cuál es la principal amenaza para América Latina en la próxima década? *SERIE: macroeconomía del desarrollo*(116), 1.28.
- Gisbert Aguilar, P. (2007). *Decrecimiento: camino hacia la sostenibilidad*. Obtenido de [https://base.socioeco.org/docs/pepa\\_decrecimiento.pdf](https://base.socioeco.org/docs/pepa_decrecimiento.pdf).
- Gutamba, M., & Ramírez, T. (2016). *Desarrollo y Propuesta de un Sistema de Majeo de Residuos Reciclables en la Parroquia Molleturo, Cantón Cuenca*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Gutiérrez Sánchez, L., & Vargas Romero, S. (2017). *SEGMENTACIÓN DE EMPRESAS QUE OPERAN BAJO ECONOMÍA CIRCULAR: UNA APROXIMACIÓN CUANTITATIVA A PARTIR DE INDICADORES FINANCIEROS*. Bogotá: Colegio de Estudios Superiores de Administración - CESA.
- Hernández, G. (2021). Emisiones de gases de efecto invernadero y sectores clave en Colombia. *El Trimestre Económico*, 523-550.
- Hettige, H., Lucas, R., & Wheeler, D. (1992). The toxic intensity of industrial production: Global patterns, trends, and trade policy. *American Economic Association*, 478-481.
- Huntington, H., & Mayer, J. (1987). *Sectoral Shift and Industrial Energy Demand: What Have We Learned?* Columbus, Ohio: Battelle Press.
- Iniciativa Regional para el Reciclaje Inclusivo. (2015). *Reciclaje Inclusivo y Recicladores de Base en el Ecuador*. Quito: Editorial Don Bosco.
- Kaya, Y., & Yokobori, K. (1997). *Environment, Energy, and economy: Strategies for Sustainability*. Tokyo: Printed in the United States of America.
- Liu, N., & Ang, B. (2007). Factors shaping aggregate energy intensity trend for industry: Energy intensity versus product mix. *Energy Economics*, 29, 609-635.
- López, R., Accorsi, S., & Sturla, G. (Octubre de 2016). Análisis Sectorial de la Huella de Carbono para la Economía Chilena: Un Enfoque Basado en la Matriz Insumo Producto. (U. d. Chile, Ed.) *Serie de Documentos de Trabajo*, 1-61.
- MERNNR. (2019). *Balance Energético Nacional 2019* (Vol. 1). Quito: MERNNR.
- Nain, M., Ahmad, W., & Kamaiah, B. (2015). Economic growth, energy consumption and CO2 emissions in India: A disaggregated causal analysis. *International Journal of Sustainable Energy*, 807-824.
- ONU. (1993). *Agenda 21 programme of action for sustainable development; Rio Declaration on Environment and Development; Statement of Forest Principles: The final text of agreements negotiated by government at the United Nations Conference on Environment and Development*. Río de Janeiro: Dept. of Public Information.
- Patiño, I. (2016). *Estructura Productiva, Eficiencia Energética y Emisiones de CO2 en Colombia*. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Prieto-Sandoval, V. (2016). ECO-labels as a multidimensional research topic: Trends and opportunities. *J. Clean. Prod.*, 135, 806–818.

- Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (Agosto de 2017). Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*(15).
- Pulido, A., & Fontela, E. (1993). *Análisis input-output : modelos, datos y aplicaciones*. Madrid: Pirámide.
- Ruíz, P. (enero-marzo de 2011). Estimación de los costos relativos de las emisiones de gases de efecto invernadero en las ramas de la economía mexicana. *El Trimestre Económico*, LXXVIII(1)(309), 173-191.
- Segura, Á., Rojas, L., & Pulido, Y. (2020). Global references in solid waste management systems. *Espacios*, 41(17).
- Sosa, J., Sabogal, J., & Missaglia, M. (2015). *Modelo de equilibrio general aplicado para la evaluación de política de cambio climático en Colombia*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Taboada , P., Armijo , C., Aguilar, Q., Ojeda , S., & Aguilar, X. (2009). Métodos para la Determinación de Generación de Residuos en Comunidades Rurales. *Red de Ingeniería en Saneamiento Ambiental*, 1-7.
- Varela Menéndez, J., & Rey García, M. (2018). *La economía circular*. Da Coruña: Universidade da Coruña.

## **7 ANEXOS**

### **7.1 Cálculos realizados con metodología MIP.**

Para la primera estimación se realizó la matriz de correlación acorde a los sectores productivos de la Matriz Insumo Producto, el Balance Energético y el Inventario GEI. A continuación se presentan las matrices y vectores requeridos para el cálculo:

Tabla.12 Correlación entre los procesos de GEI del BNE y Cuentas Nacionales

Agrupación Sectorial	Ramas del Sistema de Cuentas Nacionales MIP	Balance Energético Nacional	Inventario GEI con BEN
1 Agricultura, silvicultura, ganadería y pesca	de la 1 a la 11	2	2
2 Petróleo y minería	de la 12 a la 13	7	7
3 Minería	de la 14 a la 15	7	7
4 Procesamiento y conservación de carne, camarón y especies acuáticas	de la 16 a la 19	4	4
5 Alimentos, bebidas y tabaco	de la 20 L 32	4	4
6 Textiles, prendas de vestir, cuero y calzado	de la 33 a la 35	4	4
7 Madera	36	4	4
8 Papel	37	4	4
9 Industria química, del plástico y hule	de la 38 a la 42	4	4
10 Minerales no metálicos	de la 43 a la 44	4	4
11 Metálica básica, maquinaria y equipo	de la 45 a la 48	4	4
12 Otras industrias manufactureras	de la 49 a la 50	4	4
13 Electricidad y agua	de la 51 a la 52	4	1
14 Construcción	53	8	8
15 Equipo de transporte	de la 54 a la 55	3	3
16 Hoteles y restaurantes	de la 56 a la 57	6	6
17 Transporte, comunicación e información	de la 58 a la 60	3	3
18 Servicios financieros, seguros y bienes inmuebles	de la 61 a la 63	6	6
19 Instituciones	de la 64 a la 70	5.6	5.6
20 Otros servicios	71	6	6

Fuente: Cálculos propios a partir de la Matriz Insumo Producto y el Balance Energético Nacional 2020, MERNNR

La tabla 12 recoge los 20 sectores agregados considerados para el estudio. La tabla 13 se presenta las sectores agregados de la MIP correspondiente al año 2019:

Tabla.13 Matriz Insumo Producto 2019 para Ecuador.

	Sectores	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Demand a Interme dia	Demanda Final	Utilización total
1	Agricultura, silvicultura, ganadería y pesca	1,552,236	1,550	26,137	3,451,643	2,016,078	79,197	379,155	746	33,805	1,181	3,653	7,560	885	484,483	1,664	90,789	2,990	419	18,643	-	8,152,812	8,177,559	16,330,371
2	Petróleo y minería	6,225	1,489,196	499	2,635	2,178	565	589	539	885,788	3,346	3,491	596	68,967	2,858	8,772	1,648	32,201	4,222	8,563	-	2,522,878	7,908,665	10,431,543
3	Minería	62	17	3	143	98	20	30	10	42	120,432	227,177	19	11	210,548	21	30	38	5	67	-	558,773	131,915	690,688
4	Procesamiento y conservación de carne, camarón y especies acuáticas	302,258	494	86	558,499	143,338	5,048	927	273	2,771	431	1,334	1,853	323	4,715	608	451,904	1,092	153	106,298	-	1,582,405	8,585,178	10,167,583
5	Alimentos, bebidas y tabaco	268,576	4,315	928	283,981	974,318	3,501	8,394	3,199	26,148	3,054	8,072	3,573	5,537	30,225	5,315	290,829	7,318	2,479	150,608	-	2,080,372	7,688,363	9,768,735
6	Textiles, prendas de vestir, cuero y calzado	1,253	35,974	413	957	731	380,044	548	4,447	5,833	266	23,270	32,434	4,900	644	23,839	5,753	46,525	3,464	107,334	-	678,628	1,300,626	1,979,254
7	Madera	453	71	249	494	6,826	67	155,655	31	150	401	29,743	325,019	37	709,679	930	103	131	19	94,863	-	1,324,922	421,097	1,746,019
8	Papel	38,287	19,754	417	71,320	99,089	17,073	7,315	125,871	14,808	17,702	14,204	10,549	117,725	34,440	100,634	24,256	60,076	66,139	235,074	-	1,074,736	298,666	1,373,402
9	Industria química, del plástico y hule	693,386	208,812	29,066	148,903	252,012	52,660	41,482	76,593	217,281	162,109	126,394	59,460	269,292	344,812	204,684	33,302	847,278	41,210	946,480	-	4,755,216	3,547,007	8,302,223
10	Minerales no metálicos	2,760	7,986	1,418	1,713	23,255	387	2,005	225	6,236	120,753	6,338	1,200	3,312	1,855,023	794	1,482	688	127	4,058	-	2,039,762	102,237	2,141,999
11	Metálica básica, maquinaria y equipo	11,731	169,043	6,362	83,665	27,069	12,670	21,293	2,628	49,550	37,098	845,652	171,392	13,888	372,748	3,036	14,513	41,628	10,378	160,694	-	2,055,040	3,221,700	5,276,740
12	Otras industrias manufactureras	327,864	198,337	21,992	3,887	46,210	6,007	4,918	124	16,162	48,176	6,648	14,266	21,992	22,237	13,828	9,591	58,253	106,664	52,620	-	979,775	1,076,886	2,056,661

13	Electricidad y agua	154,581	175,337	8,221	97,785	58,900	17,643	10,904	16,852	39,423	51,617	38,732	21,874	1,350,113	25,054	118,742	53,730	164,129	46,087	258,972	-	2,708,694	1,753,454	4,462,148
14	Construcción	5,526	27,247	186	8,839	6,045	1,261	1,831	591	15,647	936	2,894	1,157	852	15,314	1,318	7,290	4,101	810,944	244,230	-	1,156,206	18,574,221	19,730,427
15	Equipo de transporte	495,329	409,318	24,211	1,148,961	785,755	163,925	237,960	76,786	340,083	121,639	376,419	150,437	106,718	1,329,294	255,866	244,375	511,848	95,581	663,101	-	7,537,607	7,943,818	15,481,425
16	Hoteles y restaurantes	12,018	105,307	345	3,942	4,858	875	928	580	2,687	1,775	3,457	654	2,534	7,162	6,001	1,824	190,013	74,381	279,298	-	698,640	3,612,420	4,311,060
17	Transporte, comunicación e información	718,685	715,421	29,327	197,720	228,357	15,994	17,233	47,315	125,495	89,130	80,657	42,821	114,653	400,015	1,809,655	72,741	1,109,808	558,779	584,708	-	6,958,513	8,120,166	15,078,679
18	Servicios financieros, seguros y bienes inmuebles	174,132	119,700	8,136	119,986	219,094	36,591	35,076	40,792	86,395	59,139	125,186	22,067	96,439	223,585	1,028,345	147,314	671,278	1,669,782	498,678	-	5,381,715	8,515,183	13,896,898
19	Instituciones	1,038,228	809,670	49,213	159,968	471,214	71,055	42,965	63,475	230,526	148,746	186,289	31,547	292,015	618,532	983,944	199,642	1,869,372	1,210,528	2,211,164	-	10,688,093	23,932,763	34,620,856
20	Otros servicios	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	574,687	574,687
	Compras directas de no residentes en Ecuador	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Consumo Doméstico (pb)	5,803,590	4,497,552	207,209	6,345,040	5,365,427	864,583	969,209	461,074	2,098,831	987,930	2,109,609	898,478	2,470,193	6,691,367	4,567,996	1,651,114	5,618,768	4,701,364	6,625,452	-	62,934,786	115,486,612	178,421,398

Fuente: página web del Banco Central del Ecuador

En conformidad con la metodología descrita, seguidamente se presentan en la tabla 14 los vectores de interés y que fueron calculados acorde con los datos recogidos en la tabla 12 denominada: Correlación entre los procesos de GEI del BNE y Cuentas Nacionales:

Tabla 14. Consumo total de energía por sectores kBEP

	<b>Sector</b>	<b>Utilización total</b>	<b>Consumo total de energía por sectores kBEP</b>
1	Agricultura, silvicultura, ganadería y pesca	16,330,371	4,053.00
2	Petróleo y minería	10,431,543	1,026.06
3	Minería	690,688	67.94
4	Procesamiento y conservación de carne, camarón y especies acuáticas	10,167,583	2,849.91
5	Alimentos, bebidas y tabaco	9,768,735	2,738.11
6	Textiles, prendas de vestir, cuero y calzado	1,979,254	554.77
7	Madera	1,746,019	489.40
8	Papel	1,373,402	384.96
9	Industria química, del plástico y hule	8,302,223	2,327.06
10	Minerales no metálicos	2,141,999	600.39
11	Metálica básica, maquinaria y equipo	5,276,740	1,479.03
12	Otras industrias manufactureras	2,056,661	576.47
13	Electricidad y agua	4,462,148	1,250.71
14	Construcción	19,730,427	9,453.70
15	Equipo de transporte	15,481,425	23,517.55
16	Hoteles y restaurantes	4,311,060	603.27
17	Transporte, comunicación e información	15,078,679	22,905.75
18	Servicios financieros, seguros y bienes inmuebles	13,896,898	1,944.68
19	Instituciones	34,620,856	17,531.12
20	Otros servicios	574,687	80.42
	Compras directas de no residentes en Ecuador	-	
	<b>Total</b>	<b>178,421,398</b>	<b>94,434.30</b>

Fuente: Cálculos propios en base la MIP y el Balance Energético Nacional 2020, MERNNR.

El Balance Energético Nacional 2020 presenta los tipos de combustibles que los sectores utilizan, que específicamente no son 20 conforme la matriz presentada, sin embargo, fue posible estimar el consumo de energía de estos 20 sectores a través de la correlación entre bases de datos e imputación entre sectores, tratando en lo posible de no vulnerar o alterar ningún sector.

Con esta información se utilizó la metodología presentada en la sección tres y se estimó la huella de carbono para los 20 sectores. Para el cálculo no se incluyó la generación de electricidad y gas, dado que este dato está recogido en el sector 13.

Tabla 15. Emisiones GEI (kton CO<sub>2</sub> eq.) por actividad Económica para Ecuador para el año 2019

Sectores		Emisiones total
1	Agricultura, silvicultura, ganadería y pesca	3,882,902
2	Petróleo y minería	2,905,722
3	Minería	130,329
4	Procesamiento y conservación de carne, camarón y especies acuáticas	2,971,084
5	Alimentos, bebidas y tabaco	2,765,807
6	Textiles, prendas de vestir, cuero y calzado	519,646
7	Madera	343,346
8	Papel	264,913
9	Industria química, del plástico y hule	1,877,327
10	Minerales no metálicos	355,564
11	Metálica básica, maquinaria y equipo	1,346,446
12	Otras industrias manufactureras	496,462
13	Electricidad y agua	984,766
14	Construcción	6,068,778
15	Equipo de transporte	3,711,367
16	Hoteles y restaurantes	1,255,353
17	Transporte, comunicación e información	3,675,498
18	Servicios financieros, seguros y bienes inmuebles	3,550,847
19	Instituciones	9,276,913
20	Otros servicios	182,100
		46,565,169

Fuente: Cálculos propios en base la MIP y el Balance Energético Nacional 2020, MERNNR.

Nuevamente, utilizando la metodología de Bevilacqua (2000) se procedió a estimar la matriz de generación de residuos sólidos:

Tabla 16. Estimación de Residuos Sólidos por fuente de generación de actividad Económica para Ecuador del año 2019

Sectores	Coefficiente anual de CO <sub>2</sub>	Residuos Sólidos por Sector
1 Agricultura, silvicultura, ganadería y pesca	0.08	441.5
2 Petróleo y minería	0.06	330.4
3 Minería	0.00	14.8
4 Procesamiento y conservación de carne, camarón y especies acuáticas	0.06	337.8
5 Alimentos, bebidas y tabaco	0.06	314.5
6 Textiles, prendas de vestir, cuero y calzado	0.01	59.1
7 Madera	0.01	39.0
8 Papel	0.01	30.1

<b>Sectores</b>	<b>Coefficiente anual de CO2</b>	<b>Residuos Sólidos por Sector</b>
9 Industria química, del plástico y hule	0.04	213.4
10 Minerales no metálicos	0.01	40.4
11 Metálica básica, maquinaria y equipo	0.03	153.1
12 Otras industrias manufactureras	0.01	56.4
13 Electricidad y agua	0.02	112.0
14 Construcción	0.13	690.0
15 Equipo de transporte	0.08	422.0
16 Hoteles y restaurantes	0.03	142.7
17 Transporte, comunicación e información	0.08	417.9
18 Servicios financieros, seguros y bienes inmuebles	0.08	403.7
19 Instituciones	0.20	1,054.8
20 Otros servicios	0.00	20.7
<b>Total</b>	<b>1.00</b>	<b>5,294.4</b>

Fuente: Cálculos propios en base la MIP y al coeficiente anual de CO2.