

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Economía Circular

Aplicación de teoría de juegos en la gestión de Aceites Comestibles Usados en el Ecuador

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magister en Desarrollo Sostenible y Economía Circular

Autor:

Yosselyn Ambar Mendoza López

Director:

Damián Eduardo Cedeño López

ORCID:  0000-0001-8612-5821

Cuenca, Ecuador

2024-08-27

Resumen

La gestión de los Aceites Comestibles Usados (ACUs) en Ecuador enfrenta desafíos debido a la falta de involucramiento de todos los actores en su ciclo de vida, lo que conduce a una gestión inadecuada y problemas de contaminación ambiental. El objetivo de esta investigación fue utilizar la teoría de juegos para la toma de decisiones en la gestión de ACUs. Se examinó la legislación vigente relacionada con la gestión de residuos en el país y se plantearon tres modelos de juegos estáticos con información completa y estrategias puras, que describen la interacción entre los actores clave involucrados. En el primer modelo, corresponde a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales y los residentes, se identificó que la máxima utilidad para ambos se logra cuando gestionan y reciclan, respectivamente. En el segundo modelo, incluye al Gobierno Nacional, sector hoteles, restaurantes y cafeterías (HORECA) y a los gestores de ACUs, se observó que el equilibrio se alcanza cuando el Gobierno no supervisa, el HORECA recicla y los gestores compran los residuos, incentivados por políticas gubernamentales. En el tercer modelo, que contempla al Gobierno Nacional, sector HORECA y empresas productoras de biocombustibles, se encontró que el equilibrio se logra cuando el gobierno supervisa, el HORECA recicla y las empresas compran los residuos. En conclusión, se destaca la necesidad de una estructura de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) para el financiamiento de la gestión de ACUs a nivel municipal, además de incentivos y sanciones del Gobierno Nacional para propiciar el involucramiento de los demás actores.

Palabras clave del autor: gestión de residuos, toma de decisiones, incentivos, partes interesadas, equilibrio de nash



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

The management of Used Cooking Oils (UCOs) in Ecuador faces challenges due to the lack of involvement of all stakeholders in its life cycle, which leads to inadequate management and environmental pollution problems. The objective of this research was to use game theory for decision making in LCA management. The current legislation related to waste management in the country was examined and three static game models with complete information and pure strategies, which describe the interaction between the key actors involved, were proposed. In the first model, which corresponds to the Autonomous Decentralized Municipal Governments and residents, it was identified that the maximum utility for both is achieved when they manage and recycle, respectively.

In the second model, which includes the national government, the hotel, restaurant and cafeteria sector (HORECA) and LCA managers, it was observed that equilibrium is reached when the government does not supervise, the HORECA recycles and the managers buy the waste, encouraged by government policies. In the third model, which contemplates the National Government, the HORECA sector and biofuel producing companies, it was found that the balance is achieved when the government supervises, the HORECA recycles and the companies buy the waste. In conclusion, the need for an Extended Producer Responsibility (EPR) structure for the financing of LCA management at the municipal level is highlighted, in addition to incentives and sanctions from the National Government to encourage the involvement of the other actors.

Author keywords: waste management, decision making, incentives, stakeholders, nash equilibrium



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenidos

Capítulo I.	9
1. Introducción.....	9
Capítulo II.	12
2. Marco Teórico	12
2.1 Aceite Comestible Usado	12
2.2 Impacto De Los Aceites Comestibles Usados.....	12
2.3 Gestión De Aceites Comestibles Usados.....	12
2.4 Metodologías De Toma De Decisiones En La Gestión De Residuos	13
2.5 Teoría De Juegos.....	15
2.5.1 Equilibrio De Nash.....	20
2.6 Teoría De Juegos En La Gestión De Residuos	21
Capítulo III.	23
3. Metodología	23
3.1 Tipo De Diseño De Investigación	23
3.2 Tipo De Investigación.....	23
3.3 Métodos De Investigación	24
3.5 Procedimiento	24
3.5.1 Investigación De La Legislación Vigente Relacionada Con La Gestión De Residuos En Ecuador.....	25
3.5.2 Descripción De Los Actores Involucrados Y Sus Estrategias En La Gestión De Aceites Comestibles Usados.	25
3.5.3 Aplicación De La Teoría De Juegos Para Modelar Las Interacciones Entre Los Actores Involucrados En La Gestión De Aceites Comestibles Usados, Con El Fin De Evaluar Diferentes Escenarios Y Estrategias.	26
3.5.4 Identificación De Las Estrategias Que Maximicen La Utilidad De Los Actores Involucrados.....	28
Capítulo IV.....	29
4. Resultados Y Discusión	29
4.1 Legislación Vigente Relacionada Con La Gestión De Residuos En Ecuador.	29
4.2 Aplicación De La Teoría De Juegos En La Gestión De Acus En El Ecuador	30
4.2.1 Modelo G1	30
4.2.1.1 Matriz De Pagos Modelo G1	33
4.2.1.2 Escenarios Modelo G1	34

4.2.1.3 Puntos De Equilibrio Modelo G1	35
4.2.2 Modelo G2	39
4.2.2.1 Matriz De Pagos Modelo G2	43
4.2.2.2 Escenarios	45
4.2.2.3 Puntos De Equilibrio Modelo G2	46
4.2.3 Modelo G3	52
4.2.3.1 Matriz De Pagos Modelo G3	57
4.2.3.2 Escenario	58
4.2.3.3 Puntos De Equilibrio Modelo G3	59
Capítulo V.....	63
5.1 Conclusiones	63
5.2 Recomendaciones	64
Anexos	72
Anexo A. Legislación Vigente En El Ecuador Sobre La Gestión De Residuos.....	72

Índice de tablas

Tabla 1. Ventajas y desventajas de metodologías de toma de decisiones para la gestión de residuos.	14
Tabla 2. Matriz de pago general para 2 jugadores con m y n jugadores respectivamente. .	20
Tabla 3. Matriz de pagos para dos jugadores con dos estrategias cada uno.	27
Tabla 5. Matriz de pagos para tres jugadores con dos estrategias cada uno, considerando la estrategia dos del Jugador 3.....	28
Tabla 6. Matriz de pagos Modelo G1.	34
Tabla 7. Medidas a tomar en el Modelo G1.....	38
Tabla 8. Matriz de pagos Modelo G2, cuando el gobierno se abstiene de supervisar.....	44
Tabla 9. Matriz de pagos Modelo G2, cuando el gobierno supervisa.....	44
Tabla 10. Medidas a tomar en el Modelo G2.....	51
Tabla 11. Matriz de pagos Modelo G3, cuando el gobierno se abstiene de supervisar.....	57
Tabla 12. Matriz de pagos Modelo G3, cuando el gobierno supervisa.....	58
Tabla 13. Medidas a tomar en el Modelo G3.....	62

Índice de figuras

Figura 1. Procedimiento de la investigación.....	25
Figura 2. Diagrama de Kelsen de la legislación vigente de residuos en Ecuador.	29

Agradecimiento

Agradezco a Dios por brindarme la fortaleza y la sabiduría necesarias para completar este importante trabajo académico.

Agradezco a mi familia, especialmente a mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificio inquebrantable a lo largo de este viaje educativo. Su apoyo ha sido invaluable y ha sido fundamental en mi camino hacia el éxito.

Por último, quiero agradecer a mi esposo por su constante motivación para alcanzar mis metas académicas. Su aliento y comprensión han sido fundamentales en cada paso de este proceso.

A todos los que han contribuido de alguna manera a este logro, mi más sincero agradecimiento.

CAPÍTULO I.

1. Introducción

A medida que la población crece, aumenta la demanda de aceites vegetales, para su uso en restaurantes, centros comerciales y los hogares en la fritura de alimentos (Tsai, 2019). Sin embargo, luego de su uso, la falta de medidas para su gestión y eliminación adecuada ha convertido a los Aceites de Cocina Usados (ACUs) en un problema para el ambiente.

El impacto ambiental de los ACUs es relevante, ya que un solo litro de este residuo puede contaminar hasta 1,000 metros cúbicos de agua, lo que representa el consumo de agua anual de 50 personas en áreas rurales con acceso limitado al recurso hídrico (Solate y Vargas, 2013, citado en Moya y Moya, 2020). Al verter directamente este residuo en un cuerpo hídrico o a través del sistema de alcantarillado, el aceite forma una capa impermeable que impide la adecuada oxigenación del agua y puede causar un desequilibrio de los organismos en ese ecosistema (Pascua *et al.*, 2020). Además, Villabona *et al.* (2017) consideran que otro factor a considerar es la reutilización excesiva de estos aceites de fritura, ya que, pueden generar compuestos cancerígenos como radicales libres y acrilamidas, lo que representa un riesgo para la salud pública.

En las ciudades grandes y medianas de China, se producen anualmente unos cinco millones de toneladas de aceites y grasas usadas, su manejo inadecuado, como su vertido directo en sistemas de alcantarillado urbano o su reutilización como aceite comestible, ocasiona riesgos para el ambiente y la salud humana (Zhao *et al.*, 2021). En Europa más del 60% del ACUs también se elimina de forma inadecuada, lo que puede provocar atascos en el alcantarillado, aumentando el coste del tratamiento de las aguas residuales, lo que también se evidencia en otros países, como Estados Unidos, Malasia y Reino Unido (Zhao *et al.*, 2021).

En América Latina, un caso particular es Lima, el 80% de los ACUs es desechado en los desagües, terminando eventualmente en el mar, mientras que el 20% restante es reutilizado y distribuido en el mercado negro (Zarate *et al.*, 2020). Otro caso es en Brasil, da Silva *et al.* (2017) señala que solo el 2,5% del aceite producido en el país se reutiliza, mientras que el resto se desecha de manera inapropiada en suelos, cuerpos de agua y sistemas de alcantarillado, o es incinerado.

En Ecuador, según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], se ha calculado que el 54% de la población dispone del aceite en la basura, mientras que el 24% lo arroja en quebradas

o desagües. El 21% de la población lo utiliza como alimento para animales y solo el 1% entrega el aceite usado a un gestor o lo deposita en un contenedor especial (INEC, 2016). La disposición inadecuada del aceite usado en Ecuador no solo provoca impactos negativos en el ambiente y en la salud, sino que también representa una pérdida económica (Andrade y Moncada, 2020).

Esto se debe a que el aceite usado es un recurso valioso que puede ser valorizado a través de su reciclaje y posterior uso en la producción de biocombustibles, lubricantes y otros productos (Villabona *et al.*, 2017). Sin embargo, la falta de un sistema de gestión adecuado para estos residuos, así como la cooperación entre los diferentes actores involucrados en su gestión, incluido el Gobierno (en sus distintos niveles de organización) y residentes, dificulta su recolección y tratamiento, limitando las oportunidades de aprovechamiento y generación de beneficios económicos para el país (Andrade y Moncada, 2020).

Para solucionar el problema de cooperación, que considere las preferencias de los actores involucrados en la gestión de ACUs, la Teoría de Juegos aplicada a la Economía Circular surge como respuesta a la necesidad de superar conflictos que a menudo resultan entre los participantes en un proceso de negociación (Tsan *et al.* 2020). Siendo una metodología útil en la toma de decisiones según indica Palafox *et al.* (2020) quienes destacan que la teoría de juegos presenta características distintivas como la previsión, cooperación e interacción y el comportamiento estratégico de las partes interesadas a diferencia de por ejemplo el análisis multicriterio. De manera similar, Karmperis *et al.* (2013) también destacan a la teoría de juegos como una medida para la toma de decisiones en la gestión de residuos que considera la interacción entre las partes involucradas a diferencia de metodologías como el análisis de ciclo de vida (ACV).

Para la gestión de ACUs, Yang y Shang (2021) diseñaron un modelo de teoría de juego tripartito con la intervención del gobierno, las empresas de biocombustibles y los consumidores sobre la disposición de los restaurantes a deshacerse correctamente de estos residuos. Ellos mencionan que aumentar la supervisión gubernamental, proporcionar subsidios, incrementar el precio de reciclaje de ACUs, y fortalecer la responsabilidad social de los consumidores, impulsa a los restaurantes a vender los ACUs legalmente.

Hasta el momento no se encuentra en la literatura estudios que abarquen la aplicación de teoría de juegos en la toma de decisiones para la gestión de residuos en el Ecuador. En esta investigación se estudió en particular los ACUs, en un modelo que consideró la interacción entre

los principales actores involucrados en la gestión de este residuo, las preferencias de cada uno, incentivos, multas por no cumplimiento, ingresos y egresos, de tal manera que permita considerar acciones concretas a nivel legislativo y de gestión. El objetivo general fue aplicar la teoría de juegos para la toma de decisiones en la gestión de ACUs en el Ecuador. Para alcanzar esto, se investigó la legislación vigente relacionada con la gestión de residuos en el Ecuador, se describió los actores involucrados en la gestión de aceites comestibles usados, se aplicó la teoría de juegos para modelar las interacciones entre los actores involucrados en la gestión de aceites comestibles usados, con el fin de evaluar diferentes escenarios y estrategias. Por último, se identificó las estrategias que maximicen la utilidad de los actores involucrados.

La estructura de esta tesis es la siguiente, en el capítulo I se presenta la introducción y los objetivos de la investigación, en el capítulo II se aborda el marco teórico profundizando en los conceptos fundamentales de la teoría de juegos y su relevancia para el estudio de la toma de decisiones en entornos complejos como el manejo de residuos. Posteriormente, en el capítulo III se detalla la metodología utilizada en el estudio, incluyendo los métodos de recolección y análisis de datos empleados, en el capítulo IV se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la teoría de juegos, incluyendo los diferentes puntos de equilibrio identificados y la discusión de estos resultados. Por último, en el capítulo V se detallan las conclusiones más destacadas del estudio, resumiendo los hallazgos clave y destacando las implicaciones para la gestión de los ACUs en el Ecuador.

CAPÍTULO II.

2. Marco Teórico

2.1 Aceite Comestible Usado

Los aceites vegetales son un grupo de grasas que se derivan de algunas semillas, nueces, granos de cereales y frutas (Hammond, 2003). Lo definen como un líquido graso, que se obtiene especialmente de diversos vegetales y se utiliza con fines alimenticios, energéticos o lubricante (Tabio *et al.*, 2017). Resultando, los ACUs que son materiales oleaginosos obtenidos como residuo de la preparación de alimentos, en su mayoría, estos corresponden a mezclas de aceites vegetales de diferente origen, con diferentes grados de utilización, y contaminados con grasas animales lixiviadas durante la cocción, residuos de los alimentos procesados, y cantidades variables de productos de descomposición (Suaterna, 2009).

2.2 Impacto de los Aceites Comestibles Usados

El vertido de aceite usado en los desagües puede dificultar el paso del agua a través de las tuberías, la combinación de estos residuos con restos de jabones y detergentes domésticos puede generar la formación de "bolas de grasa" en el drenaje de los hogares, lo que puede provocar atascos en los colectores y otros elementos relacionados (Castillo, 2020). Estos atascos también pueden dificultar el intercambio gaseoso en el agua residual a lo largo de los colectores y aumentar el desgaste de las máquinas de filtración y purificación del agua (García, 2021). Además, el vertido de este tipo de residuos puede crear un ambiente propicio para la proliferación de vectores como ratas y bacterias, lo que puede generar problemas de seguridad alimentaria (Villabona, 2017).

2.3 Gestión de Aceites Comestibles Usados

Se han propuesto diversas soluciones, Matušinec *et al.* (2020) proporcionan una visión detallada de los diferentes métodos utilizados en la gestión de estos residuos. Además, mediante una revisión de 25 artículos, se discuten los diferentes métodos de gestión de los residuos de aceites y grasas, incluyendo la reutilización, el reciclaje y la eliminación. La investigación realizada por Araujo *et al.* (2019) sobre la producción de biodiesel a partir de aceite de freír, proporciona información sobre la utilización de los aceites de cocina como una fuente viable y sostenible para la producción de biodiesel. Del mismo modo en este artículo se realiza un análisis detallado sobre el reciclaje de estos residuos, tomando como referencia la investigación realizada por Ahmed (2020), como rejuvenecedor de asfalto, los autores explican que los ACUs tienen propiedades químicas que pueden mejorar la resistencia al envejecimiento del asfalto, como aditivo es una

alternativa, ya que reduce la cantidad de estos que terminan en vertederos y puede ser menos costoso que otros aditivos.

En el Ecuador, no se cuenta con regulaciones particulares, políticas definidas, estrategias establecidas, planes y proyectos de recolección que aborden el manejo de ACUs (Morocho,2019). Lo cual conlleva a desafíos ambientales al momento de gestionar adecuadamente la disposición final de este tipo de residuo (Serrano,2019).

La gestión adecuada de este residuo recae en los Gobiernos Autónomos Descentralizados, quienes deben implementar ordenanzas que regulen su disposición, de acuerdo con el Código Orgánico del Ambiente (2017). El éxito de estas iniciativas depende en gran medida de la colaboración y compromiso de los actores involucrados en la cadena de valor del aceite, incluyendo consumidores, productores, recolectores y recicladores (Liu *et al.*, 2018).

Como alternativas de aprovechamiento de ACUs, entre los productos más frecuentes que se elaboran con este residuo, se encuentran el jabón, el betún, el biodiésel, las velas, la cera, los surfactantes, los tensoactivos, las espumas rígidas de poliuretano, los fertilizantes, y otros (Villabona *et al.*, 2017).

El reciclaje de ACUs es una alternativa viable para reducir los problemas ambientales asociados con su eliminación. Sin embargo, los países en desarrollo debido a la falta de tecnología y de infraestructuras adecuadas no aprovechan estos residuos (Prieto *et al.*, 2021). En este sentido, el ACUs puede ser entregados a gestores para su traslado a otros países donde poseen tecnologías que permitan producir biodiesel.

2.4 Metodologías de toma de decisiones en la gestión de residuos

La investigación en el ámbito de la gestión de residuos se ha enfocado en la creación de herramientas y métodos diseñados para asistir a los tomadores de decisiones Palafox *et al.* (2020).

En el siguiente apartado, se presenta una tabla comparativa que resume las ventajas y desventajas de metodologías de toma de decisiones en la gestión de residuos:

Tabla 1. Ventajas y desventajas de metodologías de toma de decisiones para la gestión de residuos.

Metodología	Ventajas	Desventajas	Referencias
Teoría de juegos	Proporciona predicciones para una interacción estratégica entre los participantes.	Racionalidad limitada de los participantes en juegos con información incompleta, derivándose en decisiones informadas de manera limitada.	Karmperis <i>et al.</i> (2013). Zhang <i>et al.</i> (2017).
Modelado de evaluación integrado	Pueden manejar problemas que involucren múltiples dimensiones y criterios conflictivos.	Necesitan una gran cantidad de datos para los cálculos, que garanticen resultados válidos.	Coelho <i>et al.</i> , (2017). Campitelli y Schebek (2020).
Análisis de Ciclo de Vida (ACV)	Evalúa impactos ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida del producto. Permite tanto mejoras ambientales como beneficios económicos.	Las suposiciones hechas en un modelo de ACV, pueden ser subjetivas. Tiende a producir resultados divergentes e incluso contradictorios.	Zurbrügg <i>et al.</i> , (2014). Yang y Shang (2021).
Análisis de escenarios	Representa un conjunto de resultados futuros factibles.	No analiza la cooperación entre las partes interesadas, sus interacciones y sus comportamientos estratégicos.	Palafox <i>et al.</i> (2020).
Análisis costo-beneficio (ACB)	Permite traducir los aspectos ambientales a términos económicos	Un modelo ACB para un sistema de gestión de residuos puede llevar mucho tiempo.	Pires y Chang (2011).
Marco de toma de decisiones con criterios múltiples	Se pueden ampliar fácilmente en modelos de toma de decisiones grupales.	Pueden ser muy simplistas si no consideran todos los aspectos del problema y, por el contrario, pueden ser muy complicados cuando tienen en cuenta demasiados aspectos.	Palafox <i>et al.</i> (2020).

Elaborado por: El autor.

En la Tabla 1 se distingue a la teoría de juegos de otras metodologías, como los modelos basados en agentes, el análisis de decisiones multicriterio, el análisis de escenarios, la toma de decisiones robusta, los modelos de evaluación integrada, entre otros. Esto radica en su capacidad para abordar objetivos conflictivos, fomentar la cooperación, prever resultados, optimizar decisiones, clasificar alternativas, analizar interacciones entre partes interesadas, modelar comportamientos estratégicos y manejar la incertidumbre, tal como se muestra en la Tabla 2 de Palafox *et al.* (2020) donde se presenta una tabla comparativa de algunas metodologías de toma de decisiones en la gestión de residuos. A diferencia de las otras metodologías analizadas, la teoría de juegos permite desarrollar estrategias óptimas teniendo en cuenta las acciones de los demás actores y comprender cómo sus decisiones individuales afectan en las decisiones de los demás (Soltani *et al.*, 2016). Con la capacidad de modelar y analizar la dinámica de interacción entre actores, como su aplicación exitosa en temas de investigación como la gestión de residuos, simbiosis industrial, logística inversa, los sistemas de incentivos y la toma de decisiones estratégicas (Zhang *et al.*, 2017). Incluyendo la consideración de aspectos éticos y sociales, la complejidad de modelar sistemas dinámicos y la necesidad de una colaboración interdisciplinaria Tsan *et al.* (2020).

2.5 Teoría de Juegos

La teoría de juegos ofrece un enfoque sistemático para analizar el comportamiento estratégico de los actores individuales y su interacción en situaciones en las que las decisiones de cada uno afectan el resultado global. De esta manera, se pueden explorar diferentes escenarios y evaluar las consecuencias de cada acción, lo que ayuda a encontrar soluciones más efectivas y aceptables para todas las partes involucradas (Madani, 2010).

La teoría de juegos proporciona una herramienta valiosa para abordar problemas complejos y tomar decisiones informadas en situaciones de negociación, conflicto o cooperación (Münter, 2024).

Antes de definir de manera formal lo que es un juego, se establecerán algunos conceptos previos tomados de Pérez *et al.* (2004) y Magazinnik (2021):

- **Racionalidad**

Recae en la relación siguiente: si se tiene un conjunto finito de acciones posibles $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ de un agente, y se requiere saber cuáles son sus preferencias. Esto se estudiará en términos de lo que es conocido en matemáticas como relaciones binarias (" $\succeq$ ", ">", " $\sim$ ")

Ejemplo 1: Un conjunto de acciones para un mandatario en un conflicto armado pudiera ser: $A = \{\text{"avanza en el frente de ataque"}, \text{"retira las tropas"}\}$.

En un conjunto finito de posibles acciones A , se define una relación binaria $P (\succeq)$, llamada relación de preferencia, tal que para $x, y \in A$, si se tiene xPy ($x \succeq y$) significará que la acción x es preferida o indiferente a y .

Formalmente, si se tiene un conjunto A . La relación de preferencia $P \subseteq A \times A$ incluirá todos los pares ordenados (x, y) tal que xPy ($x \succeq y$).

A partir de la relación binaria $\succeq$, se procede a definir otras dos como sigue:

- Relación de preferencia estricta, $E(>)$:

$x > y \Leftrightarrow x \succeq y$, pero no se satisface $y \succeq x$, y se diría que x es preferido a y .

- Relación de indiferencia, $I(\sim)$:

$x \sim y \Leftrightarrow x \succeq y$, y a la vez $y \succeq x$, y se diría que x es indiferente a y .

Ejemplo 2: Sea $A = \{x, y, z\}$ tal que $P \subseteq A \times A$ donde los pares ordenados $(x, y) \in P$, significan que x es preferido a y . Esto es $(x, y) \in P \Leftrightarrow x \succeq y$. Tomando, $P = \{(x, y), (y, x), (y, y), (y, z)\}$ se evidencia que la preferencia estricta es $E = \{(y, z)\}$, esto porque $y \succeq z$ pero no se tiene $z \succeq y$ lo cual implica que $y > z$, además la relación de indiferencia es $I = \{(y, y), (x, y), (y, x)\}$, lo cual es claro porque $y \succeq y$ implica que $y \sim y$ y como $x \succeq y$ y también se tiene $y \succeq x$ entonces $x \sim y$.

A continuación, se introducen condiciones adicionales a la relación P que aseguran que se puede realizar una “mejor elección” que tenga sentido y esté bien definida, basándose en las preferencias individuales. Formalmente, la “mejor elección” está en el conjunto maximal.

Definición: Sea A un conjunto dado, y una relación de preferencia $\succeq$ en A , el conjunto maximal $M(\succeq, A) \subset A$ se define como:

$$M(\succeq, A) = \{x \in A: x \succeq y, \forall y \in A\}.$$

Se necesitan condiciones que garanticen que este conjunto maximal tiene un elemento, es decir, que, dado un conjunto de acciones, hay al menos una que es preferida a todas las demás, para lo cual es necesario la siguiente definición.

Definición: Dado un conjunto A , una relación de preferencia $\succeq$ definida sobre ese conjunto se dirá racional si se cumplen las siguientes dos condiciones:

- Completitud

$\forall x, y \in A$, se cumple que $x \succeq y$ o $y \succeq x$ (o ambas).

- Transitividad

$\forall x, y, z \in A$, si $x \succeq y$ y $y \succeq z$, entonces $x \succeq z$.

Observación: La completitud implica que, al tener dos opciones distintas x e y , éstas pueden ser comparadas en relación una con la otra, de tal manera que se pueda establecer si se prefiere x , se prefiere y o si son igualmente deseables (indiferentes).

Se debe notar que no todos los conjuntos bajo una relación de preferencia son racionales:

Ejemplo 3: Tomando en consideración el **ejemplo 2**, $A = \{x, y, z\}$ y en donde se define una relación de preferencia $P = \{(x, y), (y, x), (y, y), (y, z)\}$ tal que $(x, y) \in P \Leftrightarrow x \succeq y$. Es claro que en A bajo esta relación de preferencia, no se satisface la condición de ser completo, esto porque no se puede comparar x con z , por lo tanto, se puede concluir que no es racional.

Ejemplo 4: En cambio $A = \{x, y, z\}$ con la relación de preferencia $P = \{(x, x), (y, y), (z, z), (x, y), (y, z), (x, z)\}$ es un ejemplo de un conjunto racional.

La racionalidad de una relación binaria en un conjunto finito garantiza que se pueda tener la mejor elección, como se puede ver en el siguiente resultado de Magazinnik (2021):

Teorema: Si A es un conjunto finito y además $\succeq$ es una relación de preferencia racional en A , entonces $M(\succeq, A) \neq \emptyset$.

Ejemplo 5: Considerando el **Ejemplo 4**, como A con la relación de preferencia dada es racional, es claro que $x \in M(\succeq, A)$, esto porque $x \succeq y$, $x \succeq y$ y $x \succeq z$.

Frecuentemente, puede resultar útil (para simplificar expresiones y argumentos) asignar un número a cada alternativa en el conjunto A , de modo que números más altos denoten alternativas más preferidas. En tal caso, la función u que asigna números a las alternativas (conocida como la función de utilidad del agente sobre A) puede ser cualquiera que refleje las preferencias del agente. Se dice que esta función u es compatible con las preferencias del agente, o que representa dichas preferencias. Así, si se asocian números para representar cada resultado

entonces se puede usar el operador " $\leq$ " común en los números reales para comparar preferencias.

Definición: Se dice que la función de utilidad $u: A \rightarrow \mathbb{R}$ representa la relación de preferencia $\succeq$, si para todo $x, y \in A$, $x \succeq y$ si y sólo si $u(x) \geq u(y)$

Observación: De la definición anterior se puede ver de manera sencilla que $x \succ y \Leftrightarrow u(x) > u(y)$ y además $x \sim y \Leftrightarrow u(x) = u(y)$. Además, es sencillo de ver que si u es una función de utilidad de un agente, para $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ estrictamente creciente, también lo será $v = f(u)$.

Ejemplo 6: Sea el conjunto $A = \{x, y, z\}$, donde x, y, z son "camarón", "pescado" y "pollo" respectivamente, y supóngase, que una persona prefiere cocinar x a y y y a z . Entonces una función de utilidad que respeta la relación de preferencia sería $u(x) = 9, u(y) = 7$ y $u(z) = 3$. Además, cualquier función g estrictamente creciente lo satisface, por ejemplo: $2u + 5, 3e^{4u}, \ln u$.

A continuación, de acuerdo con Pérez *et al.* (2004), se presentan condiciones necesarias bajo las cuales se puede garantizar que una condición de preferencia pueda ser representada por una función de utilidad.

Proposición: Para que una relación de preferencia $\succeq$ sobre un conjunto A , pueda ser representada por una función de utilidad, es necesario que la relación sea racional.

Para el caso cuando el conjunto de alternativas A es finito, el recíproco de la proposición anterior también es cierto, como se muestra en el siguiente Teorema de existencia y unicidad de la utilidad ordinal, enunciado en Pérez *et al.* (2004).

Teorema: Sea A finito, y además las preferencias $\succeq$ de un agente sobre A son racionales, entonces existe una función $u: A \rightarrow \mathbb{R}$ compatible con esas preferencias, i.e., $u(x) \geq u(y)$ si y solo si $x \succeq y$. Además, si v es otra función de utilidad compatible con $\succeq$, entonces $v = f(u)$, para f una función estrictamente creciente.

A continuación, según el siguiente resultado de Magazinnik (2021), se puede caracterizar la "mejor elección" usando la función de utilidad.

Teorema: Si la función de utilidad u representa la preferencia $\succeq$ en el conjunto A , entonces $M(\succeq, A) = \arg \max_{x \in A} \{u(x)\}$.

Donde $\arg \max_{x \in A} \{u(x)\}$ es el valor $x \in A$ que alcanza el máximo valor en $u(x)$, en otras palabras, su máximo.

Con lo expuesto anteriormente se puede empezar a definir lo que es un juego, en particular para los intereses de esta investigación, se van a definir conceptos asociados a uno de los tipos más simples, los juegos estáticos con información completa. Primero se presentarán algunas notaciones y terminologías para este tipo de juegos.

Al igual que en otros tipos de juegos, los componentes básicos de un juego estático con información completa son: los jugadores involucrados, las estrategias disponibles para cada jugador y las ganancias o pagos que resultan para cada jugador (es decir, la utilidad que cada resultado del juego proporciona a cada uno de los participantes).

En este escenario, los jugadores hacen sus elecciones de forma simultánea (o, para ser más precisos, sin conocer las elecciones de los demás) y de manera única, luego reciben las ganancias que dependen de la combinación de decisiones tomadas. Por esta razón, a los juegos estáticos también se les llama "juegos con jugadas simultáneas". Además, se asume que el conocimiento de la estructura completa del juego es de dominio público. Esto significa que todos los jugadores conocen las estrategias o acciones disponibles para cada jugador, así como las ganancias resultantes de cada combinación de acciones. Además, todos son conscientes de que los demás conocen esta información, y todos saben que los demás saben que todos la conocen, y así sucesivamente.

De acuerdo con Pérez *et al.* (2004), un juego en forma estratégica (o en forma normal) G viene especificado por los siguientes elementos: $G = \{J, (S_i)_{i \in J}, (u_i)_{i \in J}\}$.

Por tanto, un juego en forma estratégica viene especificado por el conjunto de jugadores $J = \{1, 2, \dots, n\}$, el conjunto de estrategias S_i para cada jugador $i \in J$ y los pagos u_i (o utilidades) que reciben los jugadores para cada combinación de estrategias. El vector $s = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ es conocido como perfil de estrategias, donde s_i es un elemento del conjunto de estrategias S_i para cada jugador $i \in J$. Además, la función de utilidad u_i para cada jugador $i \in J$ asigna un número, $u_i(s_1, s_2, \dots, s_n)$, a cada resultado del juego cuando se hacen las jugadas de $(s_1, s_2, \dots, s_n)$.

Observación: Un juego G se dirá finito, siempre y cuando el conjunto de jugadores J y el conjunto de estrategias S_i para cada jugador son finitos.

Para claridad, en juegos con dos jugadores, con un número finito de estrategias puras para cada jugador la forma estratégica del juego se puede representar por su matriz de pagos de la siguiente forma:

Sean:

$J = \{1,2\}$, el conjunto de jugadores

$S_1 = \{S_1^1, S_1^2, \dots, S_1^m\}$, el conjunto de estrategias puras del jugador 1,

$S_2 = \{S_2^1, S_2^2, \dots, S_2^n\}$, el conjunto de estrategias puras del jugador 2.

Se puede recoger toda la información requerida para la forma estratégica del juego en la siguiente matriz:

Tabla 2. Matriz de pago general para 2 jugadores con m y n jugadores respectivamente.

		Jugador 2			
		S_2^1	S_2^2	$\vdots$	S_2^n
Jugador 1	S_1^1	$u_1(S_1^1, S_2^1), u_2(S_1^1, S_2^1)$	$u_1(S_1^1, S_2^2), u_2(S_1^1, S_2^2)$	$\vdots$	$u_1(S_1^1, S_2^n), u_2(S_1^1, S_2^n)$
	S_1^2	$u_1(S_1^2, S_2^1), u_2(S_1^2, S_2^1)$	$u_1(S_1^2, S_2^2), u_2(S_1^2, S_2^2)$	$\vdots$	$u_1(S_1^2, S_2^n), u_2(S_1^2, S_2^n)$
	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\vdots$	$\dots$
	S_1^m	$u_1(S_1^m, S_2^1), u_2(S_1^m, S_2^1)$	$u_1(S_1^m, S_2^2), u_2(S_1^m, S_2^2)$	$\vdots$	$u_1(S_1^m, S_2^n), u_2(S_1^m, S_2^n)$

Fuente: Pérez *et al.* (2004).

En el siguiente apartado se verá un concepto de solución para juegos estáticos con información completa, basados en argumentos de equilibrio.

2.5.1 Equilibrio de Nash

En 1950, John Nash presentó el "equilibrio de Nash", un concepto fundamental en la teoría de juegos que surge en situaciones estratégicas con incertidumbre. Este se define como una solución en la que cada jugador está consciente de las estrategias equilibradas de los demás jugadores y donde ningún jugador puede obtener una ventaja simplemente cambiando su propia estrategia (Vanegas y Pascal, 2014). El equilibrio de Nash es un conjunto de estrategias que cada jugador posee, y que resulta en la mejor respuesta para ambos (Wicaksono *et al.*, 2020).

Pérez *et al.* (2004), definen al equilibrio de Nash de la siguiente manera:

“En el juego $G = \{S_1, \dots, S_n; u_1, \dots, u_n\}$, se dice que el perfil de estrategias puras $(s_1^*, s_2^*, \dots, s_i^*, \dots, s_n^*)$ es un Equilibrio de Nash si para cada jugador i , $u_i(s_1^*, \dots, s_{i-1}^*, \dots, s_i^*, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*) \geq u_i(s_1^*, \dots, s_{i-1}^*, s_i, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*)$ para todo s_i de S_i .

Es decir, para cada jugador i , s_i^* es una solución del problema $\max u_i(s_i^*, \dots, s_i^*, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*)$ donde s_i es la variable de decisión y pertenece a S_i .”

2.6 Teoría de Juegos en la gestión de residuos

Mediante modelos de juegos cooperativos y no cooperativos se evalúa el comportamiento estratégico de los actores en la cadena de valor, el impacto de las políticas públicas y medidas regulatorias para la gestión de residuos (Fiestras *et al.*, 2011).

A continuación, se presentan referencias bibliográficas relevantes que pueden contribuir al estado del arte de la investigación:

Algunos estudios recientes se centran en la teoría de juegos como metodología para la gestión de residuos, tal es el caso de Cheng *et al.* 2003, quienes aplicaron un enfoque de teoría de juegos cooperativos para seleccionar un nuevo sitio de vertedero. Zhang *et al.* (2020) presentaron un modelo matemático basado en la teoría de juegos para evaluar la efectividad operativa de la disposición de residuos de equipos eléctricos y electrónicos (RAEE) en China, y concluyeron que el nivel de financiamiento y la eficacia de la supervisión gubernamental tienen un impacto significativo, en este sentido, es importante considerar estos factores en el diseño de políticas públicas para la adecuada disposición de estos residuos.

Tian y Zheng (2020) realizaron un modelo de juego evolutivo y determinaron que el desperdicio de alimentos se puede reducir en determinadas condiciones mediante políticas basadas en incentivos. Utilizando este mismo enfoque Ma y Zhang (2020) desarrollaron un modelo sobre el reciclaje de residuos de construcción para analizar la evolución simbiótica entre el comportamiento de las empresas de construcción y las empresas de reciclaje, donde destacan que es importante introducir diferentes políticas de subsidios para los actores involucrados. Por otro lado, Wang *et al.* (2024) analizaron las políticas de reciclaje de baterías para vehículos eléctricos en China en un juego evolutivo tripartito, resaltando que el gobierno debe aumentar las medidas regulatorias, fortalecer la educación pública, intensificar la gestión y supervisión de los canales informales de reciclaje.

Para el caso de la gestión de ACUs en teoría de juegos, Zhang *et al.* (2017) se enfocaron en identificar políticas para la cadena de suministro de ACUs, considerando la racionalidad limitada y la información incompleta de los actores, mostraron que los gobiernos deberían eliminar las tarifas de eliminación de basura que se cobran a los restaurantes y aumentar los subsidios a las empresas de biocombustibles, además, incluir a los restaurantes en las políticas de la cadena de suministro. Otro factor para considerar según Wang *et al.* (2024) es el apoyo a la innovación tecnológica por parte del Gobierno ya que favorece el flujo direccional de los ACUs hacia el biocombustible para aviones. Zheng *et al.* (2020) proponen un modelo de optimización integrando la teoría de juegos para evaluar cómo las políticas gubernamentales pueden mejorar la eficiencia y sostenibilidad de las cadenas de suministro de ACUs.

CAPÍTULO III.

3. Metodología

3.1 Tipo de Diseño de Investigación

Cuantitativo no experimental transeccionales. - es un tipo de diseño de investigación utilizado en estudios cuantitativos, implica la recopilación de datos de una sola vez en un momento específico. En este tipo de diseño, el investigador no manipula variables ni controla la situación en la que se recopilan los datos, en lugar de ello, se observan y miden variables tal y como se presentan en el contexto natural (Rojas, 2015).

Se considera transeccional, ya que se realiza un análisis en un momento específico en el tiempo. Además, es exploratorio, porque se busca explorar nuevos enfoques en la gestión actual de ACUs.

En este tipo de investigación, se emplea la teoría de juegos para analizar el comportamiento de los diferentes actores involucrados en la gestión de ACUs, además de identificar los incentivos y las barreras para la adopción de prácticas de gestión.

3.2 Tipo de Investigación

3.2.1 Investigación Aplicada o Tecnológica

De acuerdo con Nieto (2018) la investigación aplicada o tecnológica social se enfoca en abordar los desafíos inherentes a los procesos de producción, distribución, circulación, consumo de bienes y servicios en la sociedad, utilizando investigación básica como de tecnología aplicada. Este enfoque, no solo se centra en generar conocimiento, sino en desarrollar soluciones prácticas para mejorar la vida productiva de la sociedad. Emplea diversas disciplinas, como la psicología, la sociología, la antropología y la lingüística, así como de técnicas específicas como las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), para ofrecer herramientas efectivas en áreas como la pedagogía, la economía, la informática, la administración, la planificación y el ámbito jurídico (Nieto, 2018).

Esta investigación se considera aplicada, debido a que utilizó las herramientas teóricas de los juegos estáticos con información completa para enfrentar un problema social como lo es la gestión de residuos, en particular los ACUs.

3.3 Métodos de Investigación

3.3.1 Método Deductivo

El método deductivo se refiere a una manera particular de razonar en la que se obtienen conclusiones lógicas y válidas a partir de un conjunto de proposiciones dado. Consiste en sacar conclusiones lógicas basadas en premisas o información previa (Abreu, 2014).

En la presente investigación, se utiliza el método deductivo para obtener conclusiones lógicas a partir de premisas relacionadas con la gestión de ACUs. Mediante este enfoque, se analizan las decisiones estratégicas de los actores involucrados, y se evalúan las posibles interacciones y resultados en la gestión de este residuo. El objetivo es identificar las mejores estrategias y políticas para mejorar la gestión de los aceites usados, considerando aspectos de sostenibilidad y eficiencia.

3.4 Revisión Bibliográfica

Las revisiones bibliográficas son una herramienta esencial en la investigación científica, consisten en un análisis sistemático y crítico de la literatura publicada sobre un tema específico (Codina, 2020).

Es una herramienta esencial para la aplicación de teorías de juegos en la gestión de ACUs, ya que permitió recopilar información actualizada y relevante sobre el tema, identificar estrategias efectivas y limitaciones en la gestión de los residuos, conocer las tendencias y avances en el campo. Además, mediante esta revisión se identificaron los métodos existentes para la toma de decisiones en la gestión de residuos. Además, de obtener información relevante sobre la gestión de los ACUs y los factores que influyen en ella, asimismo, la gestión de residuos permite comprender las ventajas y limitaciones de la aplicación de teorías de juegos en la gestión de los ACUs, y establecer las bases teóricas del modelo de juego a diseñar. Además de identificar casos exitosos de aplicación, que pueden servir como referentes para diseñar un modelo de juego efectivo y adaptado a las particularidades del contexto de los ACUs.

3.5 Procedimiento

La investigación se llevó a cabo en función de los objetivos planteados, en la figura 1, se observa un diagrama del procedimiento:

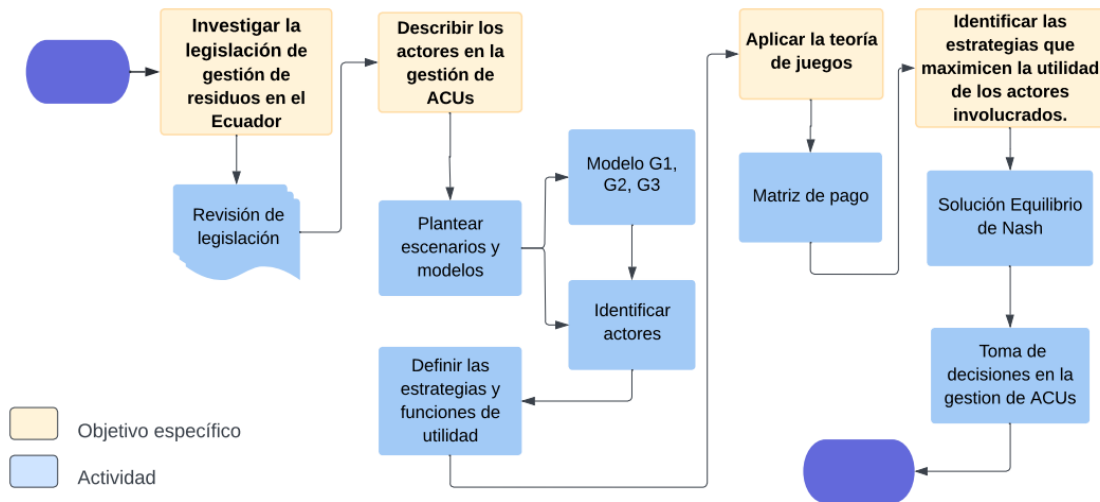


Figura 1. Procedimiento de la investigación.

Elaborado por: El autor.

A continuación, se detalla el procedimiento de la investigación:

3.5.1 Investigación de la legislación vigente relacionada con la gestión de residuos en Ecuador

Para cumplir con este objetivo, se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva de los marcos legales pertinentes en el país. Se utilizaron diversas fuentes de información, priorizando aquellas que se enfoquen en aspectos relevantes en la gestión de residuos. Para esto se consideró el orden jerárquico de aplicación de las leyes según el artículo 425 de la Constitución de la República del Ecuador, el cual establece lo siguiente:

“El orden jerárquico de aplicación de las normas será el siguiente: La Constitución; los tratados y convenios internacionales; las leyes orgánicas; las leyes ordinarias; las normas regionales y las ordenanzas distritales; los decretos y reglamentos; las ordenanzas; los acuerdos y las resoluciones; y los demás actos y decisiones de los poderes públicos” (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

3.5.2 Descripción de los actores involucrados y sus estrategias en la gestión de ACUs

Se han desarrollado tres modelos que identificaron a los actores involucrados. Para definir tanto los actores como las estrategias en cada modelo, se consideraron una variedad de factores, incluyendo las leyes pertinentes y la investigación de otros autores en el campo.

Osicka (2016) menciona que, en el contexto de la gestión de residuos, los actores principales a considerar incluyen a los hogares, empresas, gobiernos locales y nacionales, así como a los gestores de residuos.

Los principales generadores de ACUs en el país son las empresas manufactureras, el sector HORECA y los hogares, donde se utilizan aceites vegetales para la fritura de alimentos. Se considera que las empresas manufactureras están sujetas a exigencias de regularización ambiental por parte de la Autoridad Ambiental pertinente, y en sus planes de manejo ambiental deben implementar medidas para la gestión de los ACUs. Por esta razón, no se incluyeron en el análisis de los modelos planteados. Sin embargo, debido a la complejidad de supervisar el sector HORECA, dado el gran número de establecimientos, se desarrollaron dos modelos que los consideran. Finalmente, los hogares se analizaron considerando que la recuperación de los ACUs por parte de las empresas productoras e importadoras es indispensable debido a las obligaciones en la legislación respecto a la Responsabilidad Extendida Del Productor (REP).

3.5.3 Aplicación de la teoría de juegos para modelar las interacciones entre los actores involucrados en la gestión de ACUs

Debido a que no se consideró la evolución en el tiempo, se aplicó un juego estático con información completa para analizar la dinámica de los actores en el contexto dado para cada uno de los 3 modelos en estudio. En este proceso, describiendo la función de utilidad para cada jugador en cada modelo, dicha función de utilidad fue la base para la construcción de una matriz de pagos en la que se muestran las ganancias y pérdidas de los jugadores en función de cada combinación de estrategias que elijan (Bernard, 1954, citado en Restrepo, 2009).

En el modelo G_1 el juego consiste en 2 jugadores con 2 estrategias para cada jugador, lo que se representa como $G_1 = \{J, S_1, S_2, u_1, u_2\}$, donde

$J = \{1, 2\}$, el conjunto de jugadores

$S_1 = \{S_1^1, S_1^2\}$, el conjunto de estrategias puras del jugador 1,

$S_2 = \{S_2^1, S_2^2\}$, el conjunto de estrategias puras del jugador 2,

u_1 es la función de utilidad para el jugador 1

u_2 es la función de utilidad para el jugador 2

La matriz de pago para el juego G_1 quedará de la siguiente forma:

Tabla 3. Matriz de pagos para dos jugadores con dos estrategias cada uno.

		Jugador 2	
		S_2^1	S_2^2
Jugador 1	S_1^1	$u_1(S_1^1, S_2^1), u_2(S_1^1, S_2^1)$	$u_1(S_1^1, S_2^2), u_2(S_1^1, S_2^2)$
	S_1^2	$u_1(S_1^2, S_2^1), u_2(S_1^2, S_2^1)$	$u_1(S_1^2, S_2^2), u_2(S_1^2, S_2^2)$

Fuente: Pérez *et al.* (2004).

En cambio, para el caso del modelo G_i con $i = 2, 3$, el juego consiste de tres jugadores con 2 estrategias para cada jugador, lo que se representará como $G_i = \{J, S_1, S_2, S_3, u_1, u_2, u_3\}$, para $i = 2, 3$, donde

$J = \{1, 2, 3\}$, el conjunto de jugadores,

$S_1 = \{S_1^1, S_1^2\}$, el conjunto de estrategias puras del jugador 1,

$S_2 = \{S_2^1, S_2^2\}$, el conjunto de estrategias puras del jugador 2,

$S_3 = \{S_3^1, S_3^2\}$, el conjunto de estrategias puras del jugador 3,

u_1 es la función de utilidad para el jugador 1,

u_2 es la función de utilidad para el jugador 2,

u_3 es la función de utilidad para el jugador 3.

Al incorporar el tercer jugador, para la simplificación del análisis del juego G_i , se tienen 2 matrices de pago, como se puede observar a continuación:

Tabla 4. Matriz de pagos para tres jugadores con dos estrategias cada uno, considerando la estrategia uno del Jugador 3.

Jugador 3		Jugador 2	
		S_2^1	S_2^2
Jugador 1	S_1^1	$u_1(S_1^1, S_2^1, S_3^1), u_2(S_1^1, S_2^1, S_3^1), u_3(S_1^1, S_2^1, S_3^1)$	$u_1(S_1^1, S_2^2, S_3^1), u_2(S_1^1, S_2^2, S_3^1), u_3(S_1^1, S_2^2, S_3^1)$
	S_1^2	$u_1(S_1^2, S_2^1, S_3^1), u_2(S_1^2, S_2^1, S_3^1), u_3(S_1^2, S_2^1, S_3^1)$	$u_1(S_1^2, S_2^2, S_3^1), u_2(S_1^2, S_2^2, S_3^1), u_3(S_1^2, S_2^2, S_3^1)$

Fuente: Pérez *et al.* (2004).

Tabla 5. Matriz de pagos para tres jugadores con dos estrategias cada uno, considerando la estrategia dos del Jugador 3.

Jugador 3		Jugador 2	
S_3^2		S_2^1	S_2^2
Jugador 1	S_1^1	$u_1(S_1^1, S_2^1, S_3^2), u_2(S_1^1, S_2^1, S_3^2), u_3(S_1^1, S_2^1, S_3^2)$	$u_1(S_1^1, S_2^2, S_3^2), u_2(S_1^1, S_2^2, S_3^2), u_3(S_1^1, S_2^2, S_3^2)$
	S_1^2	$u_1(S_1^2, S_2^1, S_3^2), u_2(S_1^2, S_2^1, S_3^2), u_3(S_1^2, S_2^1, S_3^2)$	$u_1(S_1^2, S_2^2, S_3^2), u_2(S_1^2, S_2^2, S_3^2), u_3(S_1^2, S_2^2, S_3^2)$

Fuente: Pérez *et al.* (2004).

3.5.4 Identificación de las estrategias que maximicen la utilidad de los actores involucrados.

Como método de solución de juego, se consideró el equilibrio de Nash. Este equilibrio ocurre cuando cada jugador toma una decisión considerando la decisión del otro jugador (o jugadores), es decir, cada jugador elige la mejor opción posible en función de lo que el otro jugador (o jugadores) elegirá hacer.

Es importante tener en cuenta que, en algunos casos, puede haber múltiples equilibrios de Nash, algunos de los cuales pueden parecer irracionales a primera vista. Esto se debe a que el juego no impone restricciones sobre el comportamiento inicial de los jugadores (Restrepo, 2009). Sin embargo, para cumplir con el objetivo de identificar las estrategias óptimas que permitan maximizar la utilidad de los actores involucrados, mediante un análisis detallado y la consideración de diversos factores contextuales, se podría identificar el equilibrio óptimo que maximice la utilidad de todos los actores involucrados. Finalmente, para garantizar que se alcance este punto de equilibrio se realizó una tabla con las medidas de gestión y legislativas.

CAPÍTULO IV.

4. Resultados y Discusión

4.1 Legislación vigente relacionada con la gestión de residuos en Ecuador.

En la figura 2, se presentan los puntos relevantes sobre la legislación vigente de residuos en Ecuador, los mismos que son detallados en el Anexo 1.

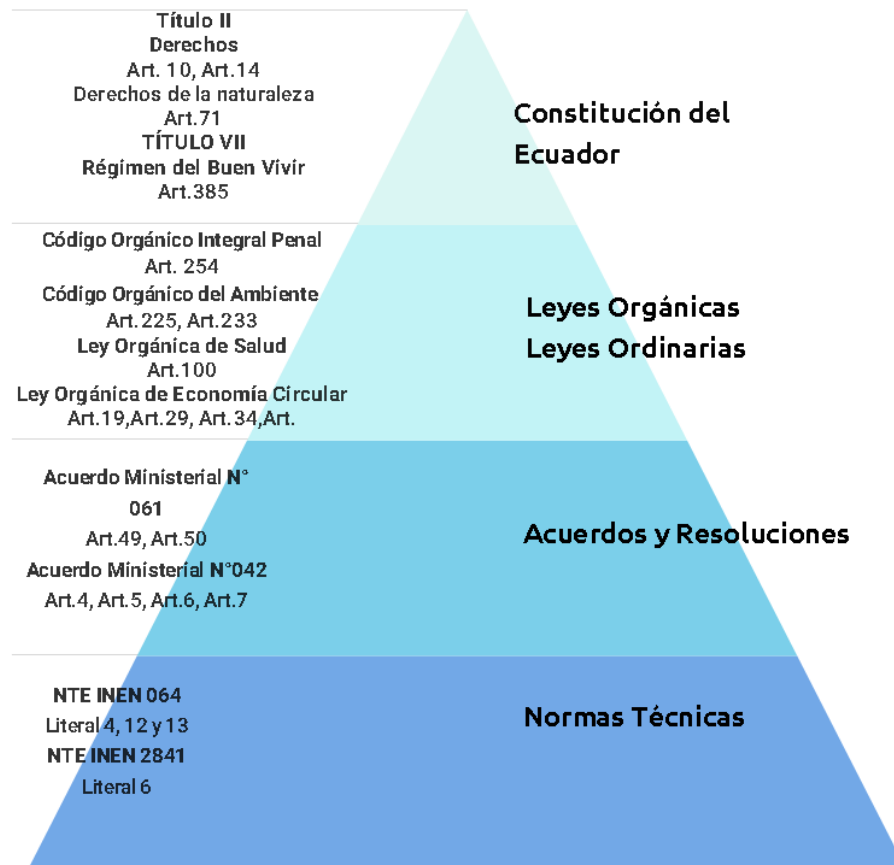


Figura 2. Diagrama de Kelsen de la legislación vigente de residuos en Ecuador.

Elaborado por: El autor.

En Ecuador, la gestión adecuada de residuos está respaldada por un amplio marco legal que se origina en la Constitución de 2008. Esta ley suprema reconoce el derecho a un ambiente sano y establece los derechos de la naturaleza a mantener y regenerar sus ciclos vitales.

Este fundamento constitucional ha dado lugar a la implementación de políticas destinadas a promover modelos sostenibles de gestión de residuos que involucren activamente a la población y reduzcan los impactos ambientales. Por ejemplo, el Código Orgánico del Ambiente (2017)

introduce políticas para la gestión integral de residuos, desechos peligrosos y especiales, y fortalece la educación ambiental junto con la provisión de incentivos. La Ley Orgánica de Salud (2015) impone a los municipios la responsabilidad del transporte, recolección, tratamiento y disposición final de desechos, con el compromiso del Estado de proveer los recursos necesarios. Además, la Ley Orgánica de Economía Circular (2021) establece criterios para el diseño ecológico, la producción sostenible y la reducción de residuos mediante la REP. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) Municipales tienen la tarea de establecer ordenanzas y mecanismos para la recolección diferenciada de residuos dentro de sus competencias.

Por otro lado, el Acuerdo Ministerial 061 Reforma al texto unificado de Legislación Secundaria (2015) destaca las competencias de la Autoridad Ambiental Nacional en la regulación y formulación de políticas sobre la gestión integral de residuos. En el caso de los aceites comestibles usados (ACUs), si bien son catalogados como residuos especiales según el Anexo C del Listado Nacional de sustancias químicas peligrosas y desechos especiales, hace falta un instructivo similar al Acuerdo Ministerial 042 Instructivo para la aplicación de la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) en la gestión integral de aceites lubricantes usados y envases vacíos (2019) que establece requisitos y directrices ambientales para la implementación de la REP en aceites lubricantes, abordando la responsabilidad de productores, comercializadores y gestores ambientales, así como la disposición adecuada de estos residuos. La Norma INEN 064 (2013) establece requisitos para garantizar la seguridad de grasas y aceites comestibles, previniendo riesgos para la salud y la vida de las personas. Finalmente, el Código Orgánico Integral Penal (2018) establece sanciones severas para quienes atenten contra el ecosistema y la biodiversidad.

4.2 Aplicación de la Teoría de Juegos en la gestión de ACUs en el Ecuador

4.2.1 MODELO G1

Planteamiento

La situación en Ecuador respecto a la gestión de ACUs está marcada por una falta de participación tanto del GAD Municipal como de los residentes (Luzuriaga *et al.* 2023). En muchas regiones del país, las prácticas de reciclaje y separación de residuos, especialmente de ACUs, son escasas (Andrade y Moncada, 2020). Esta situación se ve reflejada en la falta de infraestructura adecuada para la recolección y el tratamiento de estos desechos por parte de las autoridades locales, así como en la poca implementación de programas de concientización y educación ambiental dirigidos a la población (Cámara de Comercio de Quito, 2021).

En el Código Orgánico del Ambiente (2017), artículo 33, referente a la REP, se establece que los productores tienen la obligación de gestionar el producto a lo largo de todo su ciclo de vida, incluyendo su tratamiento o disposición final una vez se convierte en residuo o desecho tras su vida útil o por otras circunstancias. En este contexto, se propone una estructura organizativa de REP que implique la recaudación de impuestos a fabricantes e importadores, para la financiación de la recogida y el reciclado de ACUs, lo que resultaría en ahorros para el GAD Municipal en costos de tratamiento de residuos en sistemas de alcantarillado e ingresos por reciclar. Consideración similar al Fondo Verde planteado por la Secretaría de Ambiente del GAD Municipal de Quito (2014) para la recolección a nivel de hogares; así también como, el fomento de la cultura ambiental con respecto a los ACUs.

El GAD Municipal, aprovecharía los impuestos recaudados como consecuencia de la REP, invertiría en la gestión de ACUs, centrándose específicamente en la adquisición de contenedores de ACUs, costos de recogida y el transporte adecuado de estos residuos. Considerando este enfoque, se asume que el costo de inversión para el GAD Municipal se reduciría a cero.

Además, los residentes se enfrentan a la decisión de reciclar o no los residuos de ACUs, y esta elección está influenciada por varios factores. Por un lado, optar por el reciclaje es una medida para proteger la salud y el ambiente. Sin embargo, la decisión de no reciclar puede ser impulsada por la falta de conocimiento y conciencia ambiental, así como por los costos asociados con el transporte de los desechos a los puntos de recolección (Cohen *et al.*, 2021). Los residentes decidirían reciclar cuando el beneficio percibido sea mayor, es decir, cuando la utilidad de reciclar supere la utilidad de no hacerlo.

Ante este escenario, el modelo propuesto considera como actores al GAD Municipal y a los residentes, cada uno con 2 estrategias, que considera su participación o no en la gestión de los ACUs.

A continuación, se detallan las estrategias y los pagos asociados, además, las ecuaciones presentadas son modificadas de las planteadas por Cohen *et al.* (2021) quienes implementaron la teoría de juegos en el reciclaje de residuos sólidos urbanos.

- **Actores**

Los actores del modelo son:

1.- GAD Municipal.

2.- Residentes.

- **Estrategias**

Las estrategias para el GAD Municipal son:

1.- Gestionar los ACUs.

2.- Abstenerse a gestionar los ACUs.

Las estrategias para los residentes son:

1.- Separar los residuos de ACUs para su reciclaje.

2.- Abstenerse a separar los residuos de ACUs para su reciclaje.

La función de utilidad para el GAD Municipal es la siguiente:

$$U_m = A - I - C_t = R_r + C_{ta} - \gamma (R_r + C_{ta}) - C_i - C_t \quad (1)$$

R_r (reembolso de reciclaje).- Representa el ingreso por el aprovechamiento (venta o reciclaje) de los ACUs.

C_{ta} (ahorro en costes de tratamiento en sistema de alcantarillado).- Indica el ahorro en costos de tratamiento en el sistema de alcantarillado que resulta de la gestión de los ACUs. Este ahorro surge debido a la reducción de la contaminación en el sistema de alcantarillado y los problemas de salud asociados con una gestión inadecuada de los ACUs.

$\gamma (R_r + C_{ta})$ (utilidad indirecta).- Es la utilidad indirecta para los residentes, calculada como una porción de la suma del reembolso de recaudación (R_r) y el ahorro en costos de tratamiento (C_{ta}).

C_i (coste de inversión municipal para la gestión de ACUs).- Indica el costo de inversión municipal para la gestión de ACUs. Este costo está asociado con la implementación de infraestructura y programas necesarios para la recolección, y disposición adecuada de los ACUs.

C_t (costes extra de tratamiento en sistema de alcantarillado).- Representa los costos adicionales de tratamiento en el sistema de alcantarillado causados por una gestión inadecuada de los ACUs. Estos costos surgen debido a los impactos negativos en la salud pública y el ambiente derivados de la disposición inadecuada de estos residuos.

$A = (R_r + C_{ta})$ ingreso municipal. - calculado como la suma del reembolso de la recaudación y los costos evitados por tratamiento $(R_r + C_{ta})$.

$I = \gamma (R_r + C_{ta}) + C_i$ inversión neta municipal para gestión de ACUs, con $\gamma \in [0,1]$, donde $\gamma = 0$ significa que no hay inversión y $\gamma = 1$ que invierte todo el ingreso municipal.

Por otro lado, la función de utilidad para el residente es la siguiente:

$$U_r = V_d + \gamma(R_r + C_{ta}) - P_r \quad (2)$$

P_r (precio del reciclaje).- Representa los precios de reciclaje de los residentes por participar en la gestión de ACUs. Este costo incluye gastos de recipientes para recolección, tiempo dedicado al reciclaje y cualquier otro recurso necesario para llevar a cabo el proceso, como combustible para el transporte.

V_d (utilidad directa).- Representa utilidad directa, vista como la satisfacción que experimentan los residentes al participar en el proceso de reciclaje de los ACUs (valorada monetariamente \$/l).

$V_d + \gamma(R_r + C_{ta})$ (valor en dólares de las utilidades directas e indirectas).- Ingresos de los residentes.

Todas las variables analizadas en las funciones de utilidad para este modelo vienen dadas en dólares por litro de ACUs (\$/l), a excepción de γ que está entre 0 y 1.

4.2.1.1 Matriz de pagos Modelo G_1

El modelo G_1 representa un juego estático con información completa y estrategias puras, en el cual participan dos jugadores: el GAD Municipal y los residentes. Cada uno de estos actores tiene la capacidad de tomar decisiones estratégicas. El GAD Municipal puede optar entre abstenerse de gestionar los ACUs o gestionarlos, mientras que los residentes pueden decidir entre reciclar los ACUs o abstenerse de hacerlo.

Con lo anterior, para el modelo $G_1 = \{J, S_1, S_2, u_1, u_2\}$ se tiene lo siguiente:

$J = \{\text{Residentes}, \text{Municipio}\}$, el conjunto de jugadores

$S_1 = \{\text{Abstenerse a reciclar los ACUs}, \text{Reciclar los ACUs}\}$,

$S_2 = \{\text{Abstenerse a Gestionar ACUs}, \text{Gestionar los ACUs}\}$,

$u_1 = u_r$, y $u_2 = u_m$ definidas anteriormente.

A continuación, se presenta la matriz de pagos para el modelo G_1 :

Tabla 6. Matriz de pagos Modelo G_1 .

		GAD MUNICIPAL	
		Abstenerse a gestionar los ACUs	Gestionar los ACUs
RESIDENTE S	Abstenerse a reciclar los ACUs	A	C
		$0, -C_t$	$0, -C_i - C_t$
	Reciclar los ACUs	B	D
		$V_d - P_r, +C_{ta}$	$V_d + \gamma(R_r + C_{ta}) - P_r, (1 - \gamma)(R_r + C_{ta}) - C_i$

Elaborado por: El autor.

4.2.1.2 Escenarios Modelo G_1

Se plantearon diversas combinaciones de estrategias y escenarios para determinar puntos de equilibrio.

Escenario 1

En este escenario, la utilidad directa (V_d) del residente por reciclar los ACUs es mayor al precio del reciclaje (P_r), es decir, $V_d > P_r$. Además, los ingresos proporcionados por reembolso del reciclaje (R_r) supera la inversión municipal para la gestión de los residuos (I), es decir, $R_r > I$.

Desde la perspectiva del residente, los beneficios sociales percibidos por el reciclaje son mayores a los costos asociados con el mismo, lo que incentiva su participación en el proceso de reciclaje. Por otro lado, para el GAD Municipal, el costo de invertir en la gestión de ACUs sería menor a los beneficios económicos que podría obtener de esta gestión.

Escenario 2

En este escenario, la utilidad directa (V_d) del residente por reciclar los ACUs es menor que el precio del reciclaje (P_r), es decir, $P_r > V_d$. Mientras que la inversión necesaria para la gestión de residuos (I) es mayor que los ingresos obtenidos por el reembolso del reciclaje (R_r), es decir, $I > R_r$.

Bajo estas circunstancias, los residentes percibirían que los gastos económicos derivados del reciclaje son mayores a los beneficios sociales que tendrán por reciclar, por ende, tendrían poca motivación en el proceso de reciclaje. Por otro lado, para el GAD Municipal los costos de inversión

para gestionar los residuos excederían los beneficios económicos que podría obtener de gestionarlos.

Escenario 3

En este escenario, la utilidad directa (V_d) del residente por reciclar supera al precio del reciclaje (P_r), es decir, $V_d > P_r$. Mientras que la inversión necesaria para la gestión de residuos (I) es mayor que el reembolso de reciclaje (R_r), es decir, $I > R_r$.

Bajo estas circunstancias, los residentes percibirían que los beneficios personales o la satisfacción de reciclar son mayores que los costos asociados por el reciclaje. Por otro lado, para el GAD Municipal los ingresos que podría obtener de la gestión de ACUs son menores que los costos de inversión requeridos.

4.2.1.3 Puntos de Equilibrio Modelo G_1

Escenario 1

Equilibrio Punto D

GAD Municipal: como $R_r > I$ entonces $R_r > C_i + \gamma (R_r + C_{ta}) \Rightarrow (1 - \gamma)(R_r + C_{ta}) - C_i > +C_{ta}$

Residente: como $V_d > P_r$ entonces $V_d + \gamma (R_r + C_{ta}) > P_r \Rightarrow V_d + \gamma (R_r + C_{ta}) - P_r > 0$

En el punto D, se identifica un equilibrio en el que el GAD Municipal se enfrenta a la disyuntiva de gestionar los residuos de ACUs o abstenerse de hacerlo, tomando en cuenta que los residentes sí optan por reciclar. En esta situación, el reembolso que reciben de las empresas supera la inversión requerida para la gestión de los ACUs. Como resultado, el GAD Municipal tendría un excedente de fondos que puede destinarse a la construcción de infraestructuras adicionales para promover la gestión y tratamiento de sistemas de alcantarillado relacionados con la adecuada gestión de ACUs. Por consiguiente, el GAD Municipal optaría por gestionar los residuos, ya que esto generaría una mayor utilidad para la comunidad. Cohen *et al.* (2021) señala que en algunas ocasiones, los ahorros obtenidos por el GAD Municipal se mantienen dentro del sistema financiero sin que los residentes estén al tanto de ellos, lo que no ofrece transparencia. Sin embargo, si el GAD Municipal comparte la información de estos ahorros con los residentes, esto podría fomentar la cooperación y aumentar la utilidad de todos los involucrados a largo plazo.

Por otro lado, en el caso de los residentes que deben decidir entre reciclar o abstenerse de hacerlo, cuando el GAD Municipal sí gestiona los residuos, la utilidad directa como la indirecta

de los residentes superan el costo de reciclaje. Por lo tanto, los residentes eligen reciclar, ya que perciben un beneficio neto positivo al hacerlo.

La compensación económica a los consumidores según Wang *et al.*, (2024) puede incrementar considerablemente su motivación para participar en el reciclaje. Del mismo modo Cohen *et al.* (2021) señala que los incentivos económicos son determinantes para configurar las actitudes hacia la separación y el reciclaje de residuos.

Escenario 2

Equilibrio Punto A

GAD Municipal: es evidente que $-C_t > -C_i - C_t$

Residente: $P_r > V_d$

En el punto A, se identifica un equilibrio en el cual el GAD Municipal se enfrenta a la disyuntiva de gestionar o abstenerse de hacerlo, considerando que los residentes no participan en el proceso de reciclaje de estos desechos. El GAD Municipal debe contemplar la inversión en la gestión de reciclaje, y los potenciales costos asociados con el tratamiento de sistema sanitario por no gestionar los residuos ACUs. Esta consideración es crucial, ya que la falta de participación de los residentes en el reciclaje puede resultar en un aumento de la carga de trabajo para el GAD Municipal en términos de tratamiento y mitigación de problemas de salud pública derivados de una gestión inadecuada de los ACUs. En consecuencia, se asume que el GAD Municipal optaría por asumir la responsabilidad de los problemas provocados por la inadecuada gestión de ACUs, pero no invertiría en la gestión de estos.

Por otro lado, desde la perspectiva de los residentes, que deben decidir entre reciclar los ACUs o abstenerse de hacerlo cuando el GAD Municipal no gestiona los residuos. Los residentes se inclinarán por la decisión de no reciclar los residuos de aceite debido a la percepción de que los costos asociados con el reciclaje superan los beneficios personales derivados del mismo. Esta percepción se basa en consideraciones económicas, de conveniencia o de conocimiento sobre los beneficios ambientales del reciclaje. Como resultado, los residentes optarán por una eliminación convencional de los ACUs en lugar de participar en el proceso de reciclaje.

Escenario 3

Equilibrio Punto B

GAD Municipal: $I > R_r$

Residente: $V_d > P_r$

En el punto B, se identifica un equilibrio en el cual el GAD Municipal se encuentra ante la decisión de gestionar los ACUs o abstenerse de hacerlo, considerando la participación de los residentes en el proceso de reciclaje de estos desechos. En este contexto, se toma en cuenta que los ingresos obtenidos por el reembolso del reciclaje serían significativamente menores que los costos asociados a la inversión necesaria para la gestión de estos residuos. Por lo tanto, la opción que maximiza la utilidad del GAD Municipal es abstenerse de gestionar los ACUs. Esto se debe a que, en caso de que los residentes opten por reciclar, el GAD Municipal ya no invertiría en tratamientos del sistema de alcantarillado, sino que, experimentaría un ahorro en este aspecto. Desde la perspectiva de los residentes, los cuales deben decidir entre reciclar los ACUs o abstenerse de hacerlo cuando el GAD Municipal no gestiona los residuos, se observa una tendencia hacia el reciclaje. Esto es debido a que la satisfacción, el beneficio social y ambiental derivados del reciclaje superan los costos asociados con esta actividad. En consecuencia, los residentes optarían por reciclar, ya que perciben mayores beneficios en comparación con los costos de llevar a cabo esta práctica.

Análisis del Equilibrio punto A , B y D

Considerando los puntos A, B y D, se analiza cómo se relacionan con los escenarios establecidos:

En el equilibrio del punto A, el GAD Municipal no invierte en infraestructura de reciclaje debido a $-C_t > -C_i - C_t$ y los residentes tienen una utilidad directa menor que el costo de reciclaje ($V_d < P_r$). En este caso, tanto el GAD Municipal como los residentes están en un equilibrio inferior debido a la falta de confianza entre ellos. El GAD Municipal teme que su inversión en infraestructura de reciclaje no genere retorno porque los residentes no reciclarán. Por su parte, los residentes deciden no reciclar porque no obtienen ningún retorno de su inversión. En el equilibrio del punto B, el GAD Municipal decide abstenerse de gestionar los ACUs y no invierte en infraestructura de reciclaje debido a $I > R_r$, mientras que los residentes optan por reciclar motivo de $V_d > P_r$. En este escenario, aunque el GAD Municipal no interviene en la gestión de los residuos, los residentes obtienen beneficios sociales y ambientales al reciclar. A pesar de que este equilibrio maximiza la utilidad de los residentes, no es la solución ideal ya que la intervención del GAD Municipal es esencial para la gestión adecuada de estos residuos.

En el equilibrio del punto D, el GAD Municipal tiene una utilidad positiva ($R_r > I$) debido a que los ingresos adquiridos por el ingreso de reciclar ACUs superan los costos asociados a la

inversión de la gestión de estos. Por otro lado, los residentes también tienen una utilidad positiva ($V_d + \gamma (R_r + C_{ta}) > P_r$) al reciclar los residuos de aceite, ya que el beneficio neto de reciclar supera los costos asociados con esta actividad. Por consiguiente, se observa que el equilibrio en el punto D es más favorable para ambas partes que en los demás equilibrios. En este equilibrio tanto el GAD Municipal como los residentes obtienen una utilidad mayor, esto indica que en el juego ambas partes se benefician al cooperar y adoptar estrategias que promuevan el reciclaje de los ACUs. En este escenario, el GAD Municipal se encuentra motivado a invertir en infraestructura de reciclaje, ya que percibe un retorno positivo en sus inversiones. Por otro lado, los residentes también tienen incentivos para reciclar, ya que experimentan un aumento en su utilidad al participar en actividades de reciclaje.

En la siguiente Tabla 7 se plantean acciones concretas que se deben tomar para alcanzar el equilibrio en el punto D:

Tabla 7. Medidas a tomar en el Modelo G1

Modelo G₁	
MEDIDAS	DESCRIPCIÓN
Medidas Legislativas	• Expedir un Instructivo para aplicación de REP en la gestión integral de ACUs, tomando como referencia el Acuerdo Ministerial 042 (2019). • Incluir en el instructivo propuesto la implementación de impuestos destinados al financiamiento del GAD Municipal, para la gestión de estos residuos.
Medidas de Gestión	• Transparencia y socialización por parte de los GADs Municipales que muestre la reinversión en la gestión de ACUs, para garantizar ($V_d + \gamma (R_r + C_{ta}) > P_r$). • Realizar campañas de concientización y educación ambiental para informar a los residentes sobre la recolección, disposición y puntos de recolección de ACUs.

Elaborado por: El autor.

Debido a la dificultad del análisis usando variables simbólicas en lo anterior, para una mejor comprensión de los resultados de este modelo se elaboró en el **Anexo 2** un ejemplo numérico bajo consideraciones hipotéticas.

4.2.2 Modelo G_2

Planteamiento

En Ecuador, numerosas empresas, restaurantes, hoteles y otros establecimientos generan alrededor de 2.791.086,37 litros anuales de residuos de ACUs, además, la regulación y supervisión por parte del gobierno es limitada (Prieto *et al.*, 2022). No obstante, actualmente, algunas empresas gestoras están abordando esta problemática de manera activa como es el caso de ARC-Piper (2018) una empresa que se dedica a recoger, procesar y reciclar ACUs en todo el país, principalmente de hoteles, restaurantes y cafeterías conocido como sector HORECA, para luego exportarlos a Holanda, donde se convierte en biocombustible. El Universo (2021) señala que esta empresa recolecta un promedio de 70 toneladas de residuos al mes, cubriendo la zona de Quito.

A pesar de estos esfuerzos, persisten desafíos significativos en la gestión de los residuos de ACUs en Ecuador, como la falta de infraestructura adecuada, la escasez de regulaciones efectivas y la limitada participación del sector HORECA.

El sector HORECA, al enfrentarse a la disyuntiva de reciclar los residuos ACUs o abstenerse de hacerlo, analizaría diversos factores para tomar una decisión que maximice su utilidad. Reciclar cuando las ganancias esperadas por la venta de residuos y los incentivos del Gobierno Nacional superen sus ingresos básicos y las posibles sanciones por no reciclar. Además, la presencia de supervisión por parte del Gobierno Nacional puede influir en la decisión del sector HORECA, ya que la supervisión puede aumentar la confianza en la efectividad de los programas de reciclaje y reducir el riesgo de sanciones. Por ende, el sector HORECA optaría por el reciclaje cuando las condiciones económicas y regulatorias lo hagan más beneficioso y seguro en comparación con la abstención de esta práctica.

Ante este escenario, el modelo G_2 considera la participación entre el sector HORECA, el Gobierno Nacional y las empresas gestoras. Este modelo incluye la entrega de incentivos por parte del gobierno al sector HORECA y a la empresa gestora por entregar los ACUs a la empresa y gestionar los residuos del sector HORECA respectivamente. Además, si el sector HORECA no

recicla sus ACUs debería pagar una multa al Gobierno Nacional. En el caso de que la Empresa gestora decida comprarles los ACUs a terceros (donde se entiende por terceros a empresas manufactureras, residentes, entre otros) y el sector HORECA decidiera reciclar, este último debe pagar al Gobierno Nacional una tarifa de eliminación de ACUs para gestionarlos.

A continuación, se detallan las estrategias y los pagos asociados, además, las ecuaciones presentadas son modificadas de las planteadas por Yang y Shang (2021), considerando otros actores.

- **Actores**

Los actores del modelo son:

- 1.- Sector HORECA.
- 2.- Empresa Gestora.
- 3.- Gobierno Nacional.

- **Estrategias**

Las estrategias para el Sector HORECA son:

- 1.- Reciclar los residuos de ACUs.
- 2.- Abstenerse a reciclar los residuos de ACUs.

Las estrategias para la Empresa Gestora son:

- 1.- Comprar ACUs al sector HORECA.
- 2.-Comprar ACUs a terceros.

Las estrategias para el Gobierno son:

- 1.- Supervisar periódicamente al sector HORECA en el reciclaje de los residuos de ACUs.
- 2.- Abstenerse a supervisar periódicamente al sector HORECA en el reciclaje de los residuos de ACUs.

La función de utilidad para el sector HORECA es la siguiente:

$$u_{sh} = e_r + (P_{bi} + S_r - t_a)\xi q - f(1 - \xi)q \quad (3)$$

A continuación, se presentan los pagos para el sector HORECA:

e_r (ingresos HORECA).- Representa los ingresos que el sector HORECA genera, que incluyen todas las ganancias obtenidas mediante sus actividades comerciales regulares.

$-f$ (sanción por no reciclar).- Es la sanción impuesta al sector HORECA en caso de no reciclar los ACUs. Esta sanción será establecida por el gobierno, con el fin de incentivar el reciclaje.

q (cantidad total de ACUs generada por el sector HORECA).- Indica la cantidad total de ACUs generados por el sector HORECA en un período de tiempo determinado.

P_{bi} (pago de las empresas por reciclar ACUs).- Corresponde al pago que las empresas gestoras realizan al sector HORECA por los ACUs que son reciclados y vendidos como materia prima para la producción de biocombustible.

$-t_a$ (tarifa de eliminación de ACUs): Es el monto que el sector HORECA debe pagar al gobierno para que este se haga cargo de la gestión de ACUs, cuando la empresa gestora decida comprar los residuos a terceros.

S_r (incentivos del gobierno por reciclar).- Son los incentivos ofrecidos por el gobierno para incentivar el reciclaje de los ACUs (por ejemplo, pago directo por una cantidad específica).

$(P_{bi} + S_r)$ (ingresos extras).- Representa los ingresos adicionales obtenidos por el sector HORECA debido a los pagos de las empresas por reciclar los ACUs y los incentivos proporcionados por el gobierno. Estos ingresos extras pueden influir en la decisión del sector HORECA de participar en programas de reciclaje.

ξ (Proporción de residuos ACUs que se venderá a la empresa gestora).- Indica la fracción de ACUs generados por el sector HORECA que serán vendidos a la empresa gestora para su reciclaje y posterior venta como materia prima.

$(1 - \xi)$ (Proporción de ACUs que no se venderá a la empresa gestora).-Representa la fracción de los ACUs generados por el sector HORECA que no serán vendidos a la empresa gestora y que, por lo tanto, serán gestionados por el gobierno.

La función de utilidad para la empresa gestora es la siguiente:

$$u_{eg} = (e_v + S_c - P_{bi} - P_g)\xi + (e_v - P_{bi} - P_t) \xi_2 q_2 \quad (4)$$

A continuación, se presentan los pagos para la empresa gestora:

e_v (ingresos por venta de ACUs a empresas extranjeras para producir biocombustible).- Representa los ingresos generados por el sector HORECA mediante la venta de los ACUs a empresas extranjeras que los utilizan como materia prima para la producción de biocombustible u otros productos.

– P_g (costos para la gestión de ACUs).- Corresponde al costo total necesario para poder gestionar adecuadamente los ACUs. Este costo incluye la inversión en equipos, personal y otros recursos necesarios para recolectar, transportar y almacenar los residuos de manera responsable y segura.

– P_{bi} (pago al sector HORECA por ACUs).- Es el pago realizado por la empresa gestora al sector HORECA, por los ACUs comprados.

– P_t (pago a terceros por residuos ACUs).- Es el pago realizado por la empresa gestora a terceros, por los ACUs comprados.

S_c (incentivos del gobierno por gestión de ACUs).- Son los incentivos proporcionados por el gobierno para estimular la gestión adecuada de los ACUs.

$(e_v + S_c)$ (ingresos extras).- Representa los ingresos adicionales obtenidos gracias a los pagos de las empresas extranjeras que compran los ACUs para utilizarlos como materia prima y los incentivos proporcionados por el gobierno.

ξ_2 (Proporción de ACUs que se venderá a la empresa gestora por parte de terceros).- Indica la fracción de los ACUs generados por terceros que serán vendidos a la empresa gestora para su reciclaje y posterior venta como materia prima.

q_2 (cantidad total de ACUs generada por terceros).- Indica la cantidad total de ACUs generados por terceros en un período de tiempo determinado.

La función de utilidad para el Gobierno Nacional es la siguiente:

$$u_{gn} = (W_u + t_a - C_g - S_c - S_r)\xi q + (f - W_d)(1 - \xi)q - C_s \quad (5)$$

A continuación, se presentan los pagos para el Gobierno Nacional:

W_u (beneficio social).- Representa el beneficio social obtenido por la sociedad en general como resultado de la implementación de prácticas de reciclaje y gestión adecuada de los ACUs.

$-W_d$ (pérdida beneficio social).- Indica la disminución del beneficio social experimentado por la sociedad cuando el gobierno no participa en programas de reciclaje o gestión adecuada de los ACUs.

$-C_s$ (Costo de supervisión del gobierno).- Corresponde al costo total en el que incurre el gobierno para llevar a cabo la supervisión y control de las actividades de reciclaje y gestión de ACUs por parte del sector HORECA. Este costo incluye gastos relacionados con la inspección, monitoreo, aplicación de regulaciones y otros aspectos relacionados con la supervisión de las prácticas de gestión de residuos.

t_a (tarifa de eliminación de ACUs): Es el monto que el sector HORECA debe pagar al gobierno para que este se haga cargo de la gestión de los ACUs, cuando la empresa gestora decida comprar los residuos a terceros.

$-C_g$ (Costo de gestión): Corresponde al costo total en el que incurre el gobierno cuando tiene que gestionar los ACUs generados por el sector HORECA y que la empresa gestora ha decidido no comprar.

Todas las variables analizadas en las funciones de utilidad para este modelo vienen dadas en dólares por litro de ACUs ($\$/l$), a excepción de ξ , ξ_2 que es 0 ó 1, q , q_2 en litros y e_r en dólares.

Observación: En la práctica, una alternativa para obtener los valores de W_u y W_d es realizar un estudio de valoración contingente.

4.2.2.1 Matriz de pagos Modelo G_2

El modelo G_2 representa un juego con información completa y estrategias puras, en el cual intervienen tres actores: el Gobierno Nacional, el sector HORECA y la empresa gestora de ACUs. Cada uno de estos actores tiene la capacidad de tomar decisiones estratégicas; el gobierno puede decidir entre supervisar o abstenerse de supervisar el reciclaje y la gestión de los ACUs. Por otro lado, el sector HORECA tiene la opción de reciclar los ACUs o no hacerlo, y por último la empresa gestora puede optar por comprar los residuos al sector HORECA o comprar estos residuos a terceros.

Con lo expuesto anteriormente, para el modelo $G_2 = \{J, S_1, S_2, S_3, u_1, u_2, u_3\}$ se tiene lo siguiente:

$J = \{\text{Sector Horeca}, \text{Empresa Gestora}, \text{Gobierno}\},$

$S_1 = \{\text{Recicla los ACUs}, \text{Abstenerse a reciclar}\},$

$S_2 = \{\text{Compra ACUs sector Horeca}, \text{Compra ACUs a terceros}\},$

$S_3 = \{\text{Abstenerse a supervisar}, \text{Supervisa}\},$

$u_1 = u_{sh}, u_2 = u_{eg}$ y $u_3 = u_{gn}$ definidas anteriormente.

A continuación, en la **Tabla 8** y **Tabla 9** se presentan las matrices de pago del modelo G_2 :

El Gobierno Nacional se abstiene de supervisar periódicamente al sector HORECA en el reciclaje de los ACUs.

Tabla 8. Matriz de pagos Modelo G_2 , cuando el gobierno se abstiene de supervisar.

GOBIERNO		EMPRESA GESTORA	
Abstenerse a supervisar periódicamente al sector HORECA en el reciclaje de ACUs.		Compra ACUs sector HORECA	Compra ACUs a terceros
SECTOR HORECA	Reciclar los ACUs.	A	C
		$e_r + (P_{bi} + S_r) \xi q; (e_v + S_c - P_{bi} - P_g) \xi q; (W_u - S_c - S_r) \xi q$	$e_r - t_a \xi q; (e_v - P_t - P_g) \xi_2 q_2; (W_u + d - C_g) \xi q$
	Abstenerse a reciclar los ACUs.	B	D
		$e_r; 0; (-W_d) (1 - \xi) q$	$e_r; (e_v - P_t - P_g) \xi_2 q_2; (-W_d) (1 - \xi) q$

Elaborado por: El autor.

El Gobierno, supervisa periódicamente al sector HORECA en el reciclaje de los ACUs.

Tabla 9. Matriz de pagos Modelo G_2 , cuando el gobierno supervisa.

GOBIERNO		EMPRESA GESTORA	
Supervisar periódicamente al sector HORECA en el reciclaje de los ACUs.		Compra ACUs a sector HORECA	Compra ACUs a terceros
SECTOR	Reciclar los ACUs.	E	G

HORECA		$e_r + (P_{bi} + S_r) \xi q; (e_v + S_c - P_{bi} - P_g) \xi q; (W_u - S_c - S_r) \xi q - C_s$	$+ (-t_a) \xi q; (e_v - P_t - P_g) \xi q; (W_u + d - C_g) \xi q - C_s$
	Abstenerse a reciclar los ACUs.	F	H
		$e_r - f (1 - \xi) q; 0; (f - W_d) (1 - \xi) q - C_s$	$e_r - f (1 - \xi) q; (e_v - P_t - P_g) \xi q; (f - W_d) (1 - \xi) q - C_s$

Elaborado por: El autor.

4.2.2.2 Escenarios

Se plantearon dos escenarios principales, con dos estrategias para cada jugador para determinar dónde existen puntos de equilibrio.

En todos los escenarios se considera que el costo total requerido para la gestión adecuada de los ACUs por parte de la empresa gestora, así como los ingresos por la venta de estos residuos a empresas extranjeras para la producción de biocombustible, serán los mismos sin importar la estrategia elegida, ya sea adquiriendo los ACUs del sector HORECA o de terceros proveedores. Asimismo, el beneficio social obtenido por la sociedad, como resultado de la implementación de prácticas de reciclaje por el gobierno (W_u) es mayor al costo total para llevar a cabo la supervisión y control de las actividades de reciclaje y gestión de ACUs (C_s) al sector HORECA, es decir, $W_u > C_s$. Por último, los pagos realizados por la empresa gestora por los ACUs del sector HORECA (P_{bi}) serán mayor al pago a terceros (P_t).

Escenario 1

En este escenario, se plantea que los costos asociados a la supervisión por parte del gobierno serán mayores a los ingresos derivados de las sanciones impuestas al sector HORECA ($C_s > f$). Es decir, que el gasto gubernamental destinado a la supervisión resulta ser más alto que los ingresos obtenidos a través de las penalizaciones impuestas por incumplimiento de las regulaciones. Además, en este escenario no existen incentivos por parte del gobierno para el sector HORECA por reciclaje (S_r) y a la empresa gestora por la gestión de los residuos (S_c), es decir, $S_r = S_c = 0$. En este contexto, las empresas y el sector HORECA podrían estar menos motivados para participar activamente en programas de reciclaje o gestión de residuos.

Se considera que los pagos de la empresa gestora al sector HORECA (P_{bi}) son mayores a los pagos a terceros por ACUs (P_t), es decir, $P_{bi} > P_t$.

Escenario 2

En este escenario se ha considerado que el Gobierno Nacional va a proporcionar de incentivos a los actores independientemente de si realiza supervisiones o no, además, los costos asociados a la supervisión gubernamental (C_s) serían inferiores a los ingresos obtenidos a través de las sanciones impuestas al sector HORECA (f), es decir, $f > C_s$. Por otro lado, se ha considerado que los pagos que la empresa gestora hace al sector HORECA por los ACUs (P_{bi}), junto a los incentivos proporcionados por el Gobierno a la empresa gestora (S_c), serán menores que los pagos realizados a terceros (P_t) por la adquisición de ACUs, esto quiere decir, aún en el caso que $P_{bi} > P_t$ se satisface $P_{bi} - S_c < P_t$. Este análisis implica que, en términos financieros, resulta más rentable para la empresa gestora adquirir los residuos directamente del sector HORECA que recurrir a terceros proveedores.

4.2.2.3 Puntos de Equilibrio Modelo G2

A continuación, se presentan los puntos de equilibrio identificados en el modelo G_2 .

Escenario 1

Equilibrio Punto D

Gobierno: $C_s > f \Rightarrow (-W_d)(1 - \xi)q > (f - W_d)(1 - \xi)q - C_s$

Sector HORECA: $e_r > e_r - t_a \xi q$

Empresa Gestora: $e_v - P_t - P_g > 0$

En el punto D, se identifica un equilibrio en el cual el Gobierno Nacional se abstiene de supervisar periódicamente al sector HORECA en el reciclaje de los ACUs, considerando que tanto el sector HORECA se abstiene a reciclar y la empresa gestora decide comprar los ACUs a terceros.

En este contexto, cuando el gobierno toma la decisión de abstenerse de supervisar al sector HORECA en el reciclaje de los residuos, se considera que tanto el sector HORECA como la empresa gestora también se abstienen de hacerlo. Esta situación puede generar malestar o pérdida de bienestar social para la comunidad al no garantizar una gestión adecuada de los ACUs.

Por otro lado, desde la perspectiva del sector HORECA, la decisión de reciclar los residuos de aceite puede estar influenciada por la percepción de los costos asociados con la tasa de reciclaje

ya que, el costo de la tarifa de eliminación de basura (t_a) ξq disminuye los ingresos básicos (e_r), lo que sugiere que el sector encuentra más beneficioso no intervenir en el reciclaje de los ACUs, ya que maximiza su utilidad al no hacerlo. Además, considerando que el Gobierno se abstiene de supervisar y que la empresa gestora también se abstiene de comprar los residuos. Como resultado, el sector HORECA no obtendrá ingresos adicionales y optará por una eliminación convencional de los ACUs en lugar de participar en el proceso de reciclaje. Asimismo, se debe considerar que en algunas ocasiones los restaurantes no reciclan sus ACUs, esto implica que los administradores de estos establecimientos solo estarían dispuestos a reciclarlo si obtienen algún beneficio económico a cambio (Ramos, 2017).

En este contexto, la empresa gestora optaría por comprar los residuos a terceros como, por ejemplo, empresas de procesamiento de alimentos, o residencias particulares. Al ampliar su búsqueda de proveedores, la empresa busca asegurar un suministro constante de residuos para su posterior venta, garantizando así la viabilidad de su negocio, considerando que el sector HORECA se abstiene de reciclar.

Es necesario aclarar que, en este escenario no existen incentivos por parte del gobierno para intervenir en la gestión y reciclaje de los ACUs, lo que lleva a que los actores involucrados, incluyendo al sector HORECA y a la empresa gestora, opten por no tomar medidas al respecto. Aunque esta decisión maximiza temporalmente la utilidad de los involucrados, es fundamental reconocer que no es una solución ideal. Por lo tanto, sería óptimo que todas las partes colaboren para encontrar soluciones sostenibles que promuevan una gestión responsable. Además, el Gobierno debe desempeñar un papel significativo en la implementación y supervisión de normativas y legislación para promover el reciclaje, si no se toman estas medidas, esta falta de acción gubernamental puede afectar a los demás actores involucrados, quienes podrían enfrentar desafíos en participar activamente en programas de reciclaje debido a la falta de incentivos y regulaciones claras (Lett, 2014).

Escenario 2

Equilibrio Punto A

Gobierno: $C_s > 0$

Sector HORECA: $e_r + (P_{bi} + S_r) > e_r$

Empresa Gestora: $P_{bi} - S_c < P_t$

En el punto A, se identifica un equilibrio en el cual el Gobierno Nacional se abstiene de supervisar periódicamente al sector HORECA en el reciclaje de los ACUs. En este escenario, el sector HORECA participa activamente en el proceso de reciclaje de estos residuos, y la empresa gestora se encarga de manejar los ACUs, los cuales son posteriormente vendidos a empresas extranjeras para utilizarlos como materia prima en la producción de biocombustible.

El gobierno debe considerar los costos asociados con la supervisión periódica del reciclaje de los residuos por parte del sector HORECA, así como los potenciales costos relacionados con los incentivos que emitirá como recompensa por el reciclaje y la gestión adecuada de los residuos ACUs. La participación del sector HORECA en el reciclaje y el compromiso de la empresa gestora generará beneficios sociales para la comunidad y el gobierno. Sin embargo, esto puede resultar en un aumento de la carga de trabajo y la necesidad de más recursos para que el gobierno pueda llevar a cabo la supervisión adecuada del proceso de reciclaje en los restaurantes.

En consecuencia, el Gobierno opta por abstenerse de supervisar periódicamente al sector HORECA en este equilibrio, debido a que los costos de supervisión serán mayores a las sanciones que pagará el sector HORECA por incumplimiento de la regulación ambiental. Según indican Yang y Shang (2021) el Gobierno podría enfrentar limitaciones relacionadas con los recursos financieros, la disponibilidad de talento humano y el equipo necesario para llevar a cabo una supervisión constante. Además, realizar un control continuo puede ser un desafío, especialmente considerando la gran cantidad de restaurantes ubicados en áreas residenciales o comerciales. Por otro lado, Ramos (2017) observó que la autoridad sanitaria municipal lleva a cabo inspecciones sanitarias en los restaurantes, una o dos veces al año, sin embargo, estas inspecciones no abordan la correcta disposición de los aceites usados ni garantizan que los restaurantes cumplan. Además, se subraya la importancia de realizar monitoreos periódicos de preferencia cinco veces al año y destacando la necesidad de imponer multas suficientemente altas para garantizar el cumplimiento de las regulaciones ambientales. Finalmente, según la Cámara de Comercio de Quito (2021) para el Ecuador, la supervisión gubernamental periódica al Sector HORECA en el reciclaje y venta de los residuos de ACUs es fundamental para garantizar prácticas responsables y prevenir la venta ilegal de estos residuos.

Por otro lado, desde la perspectiva del sector HORECA, deben tomar la decisión de reciclar los ACUs o abstenerse de hacerlo cuando el gobierno opta por no supervisarlos. En esta situación, al no reciclar los residuos, el sector HORECA se limitaría a sus ingresos básicos. Sin embargo, al optar por reciclar los residuos, obtendrían ingresos adicionales, esta decisión de reciclar puede

estar influenciada por varios factores, como los beneficios económicos adicionales, la responsabilidad ambiental y la imagen pública. Al reciclar, obtendrían incentivos financieros del gobierno, y el pago de la empresa gestora por esos residuos, lo que aumentaría sus ingresos totales. En consecuencia, el sector HORECA optará por reciclar los residuos, ya que esta decisión no solo les brindará beneficios económicos adicionales, sino que también les permitirá demostrar su compromiso con prácticas sostenibles.

La empresa gestora tendrá dos opciones; la de comprar los residuos ACUs al sector HORECA, o comprarles estos residuos a terceros. La venta de estos residuos a empresas extranjeras para la producción de biocombustible puede generar ingresos para la empresa gestora. Sin embargo, se deben evaluar cuidadosamente los costos asociados con la gestión de los residuos y los pagos al sector HORECA y a terceros. Estos costos comprenden el transporte, tratamiento y disposición adecuada de los residuos, así como los pagos acordados con el sector HORECA por la recolección y entrega de los residuos.

En este escenario, tomando en cuenta que, $P_{bi} - S_c < P_t$, implica, $-P_{bi} + S_c > -P_t$, es decir, los pagos al sector HORECA (P_{bi}) sumados con los incentivos proporcionados por el Gobierno generará mayores beneficios que comprarles los residuos a terceros, la empresa gestora tomará la decisión estratégica de gestionar los residuos. Esto le permitirá maximizar sus beneficios y mantener una operación rentable a largo plazo.

Escenario 2

Equilibrio Punto H

Gobierno: $f > C_s$

Sector HORECA: $f < t_a$

Empresa Gestora: $e_v - P_t - P_g > 0$

En el punto H, se identifica un equilibrio en el cual el Gobierno Nacional supervisa periódicamente al sector HORECA en el reciclaje de los ACUs. En este escenario, el sector HORECA no participa en el proceso de reciclaje de estos desechos, y la empresa gestora compra ACUs a terceros.

El gobierno decide supervisar al sector HORECA considerando que al hacerlo generará ingresos por las sanciones impuestas a aquellos que no reciclen (f). Además, dado que los costos de supervisión son menores que las ganancias obtenidas por las sanciones, se cumple la condición $f > C_s$, lo que hace que sea más conveniente para el Gobierno llevar a cabo la supervisión.

En este contexto, cuando el Gobierno opta por supervisar los restaurantes y la empresa gestora decide no comprar los ACUs, los restaurantes tienen dos opciones: pagar la tarifa de eliminación de basura (t_a) al Gobierno para que se encargue de la gestión de los ACUs o pagar la sanción (f) por no reciclar. Dado que $f < t_a$, lo más conveniente para el sector HORECA sería optar por pagar la sanción en lugar de reciclar, ya que resulta más favorable desde una perspectiva económica.

Por último, la empresa gestora dado que el sector HORECA decide no vender estos residuos, se ve obligada a buscar alternativas, como adquirir los residuos de otros proveedores.

Observación: Se asume que $f > t_a$, solo existirá equilibrio en el Punto A. Por lo tanto, se debe considerar que el Gobierno imponga una multa lo suficientemente alta para que el sector HORECA se incline por reciclar los residuos ACUs.

Análisis Equilibrio Punto A, H y D

En el punto D, además de la abstención del Gobierno en la supervisión, se considera que tanto el sector HORECA como la empresa gestora también deciden abstenerse de participar en el reciclaje de los residuos. Esta situación podría provocar que, al no haber un monitoreo gubernamental sobre el reciclaje del sector HORECA, estos opten por no reciclar, lo cual a su vez conlleva a que la empresa gestora no tenga materia prima para exportar y, por lo tanto, decida no intervenir. Este escenario de abstenerse podría generar malestar en la comunidad y otros impactos derivados de la inadecuada gestión de estos residuos, como la contaminación ambiental, entre otros problemas debido a la acumulación de residuos no tratados.

En el punto H, donde el Gobierno decide supervisar el reciclaje, pero tanto el sector HORECA como la empresa gestora optan por abstenerse de participar en este proceso, se genera una situación compleja. Aunque el gobierno intenta implementar medidas de supervisión, la falta de compromiso por parte de los otros actores puede dificultar la efectividad de estas acciones. Esto pudiera conducir a que los restaurantes no reciclen sus residuos y la empresa gestora no tenga acceso a la materia prima necesaria.

Por otro lado, en el punto A, aunque el Gobierno se abstiene de supervisar directamente el reciclaje, el sector HORECA, y la empresa gestora deciden reciclar y gestionar estos residuos, ya que presentan una mayor utilidad siendo $P_{bi} - S_r > e_r$ y $e_v > P_{bi} + P_g$. En este caso, el gobierno destinará incentivos económicos a estos actores.

En este escenario, los actores obtienen una utilidad mayor en comparación con el equilibrio del punto D y H. Aunque, lo ideal sería que el gobierno realizará periódicamente la supervisión del reciclaje de estos residuos y no se considere como un costo. Es más favorable que el anterior debido a los ingresos adicionales generados por el reciclaje y la reducción de los impactos ambientales y sanitarios asociados con la gestión inadecuada de los residuos.

Las regulaciones obligatorias y los incentivos económicos son los factores dominantes que afectan las decisiones de eliminación de residuos en los restaurantes (Liu *et al.*, 2018). Los departamentos gubernamentales también deberían considerar crear incentivos económicos, mejorar la regulación obligatoria, fortalecer la supervisión y la educación para garantizar la eliminación segura del ACUs (Liu *et al.*, 2018). Además, el reciclaje y la gestión adecuada de los residuos promueven la sostenibilidad ambiental al reducir la contaminación y el agotamiento de los recursos naturales (Curcio *et al.*, 2015).

En la siguiente **Tabla 10** se plantean acciones concretas que se deben tomar para alcanzar el equilibrio en el punto A:

Tabla 10. Medidas a tomar en el Modelo G2

Modelo G_2	
MEDIDAS	DESCRIPCIÓN
Medidas Legislativas	A pesar de que en el punto A, no hay supervisión se debe buscar alternativas para implementar incentivos dirigidos al sector HORECA y a las empresas gestoras que fomenten la recolección y compra de ACUs. Estos incentivos asegurarían que estos residuos sean reciclados y posteriormente exportados para su uso como biocombustible.
Medidas de Gestión	El Gobierno Nacional deberá realizar campañas de concientización y educación ambiental para garantizar que la población este al tanto de que los beneficios sociales por la adecuada gestión de los ACUs supera la inversión en incentivos ($W_u > -S_c - S_r$).

Elaborado por: El autor.

4.2.3 Modelo G3

Planteamiento

Como caso particular en un estudio realizado por la Secretaría de Ambiente del GAD Municipal de Quito (2014) en el Distrito Metropolitano de Quito, sobre el uso y consumo de ACUs reveló que apenas el 27% de los restaurantes destinan sus residuos a gestores ambientales adecuados, mientras que una gran parte opta por regalarlos o utilizarlos como alimento para animales. A pesar de que no existen datos a nivel nacional, se podría extrapolar esta problemática a todo el país.

Por otro lado, en el Ecuador no hay empresas de biocombustibles que usen los ACUs como materia prima, lo que abre la posibilidad que nuevas empresas aprovechen estos residuos para este fin. Además, al adquirir residuos de los establecimientos del sector HORECA, contribuirían a la sostenibilidad energética y ambiental reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y la venta ilegal de ACUs, que podría infiltrarse en el mercado negro y ser adulterado para su venta como producto nuevo según Zhao *et al.*, 2021).

El Gobierno Nacional tiene un papel fundamental en la promoción de prácticas sostenibles de gestión de residuos y en la protección de la salud pública. A través de la implementación de regulaciones efectivas e incentivos se puede contribuir a mejorar la gestión de los ACUs y mitigar los riesgos asociados con su manejo inadecuado.

Al igual que en el modelo G2 este escenario considera la participación tanto del Gobierno Nacional como del sector HORECA, pero a diferencia de este, en lugar de las empresas gestoras se consideró la posibilidad de que una empresa de biocombustible opere en el país.

Las ecuaciones analizadas en este modelo fueron modificadas de las planteadas por Yang y Shang (2021), que implementaron la teoría de juegos con los mismos actores, pero en un análisis evolutivo en China.

- **Actores**

Los actores del modelo son:

- 1.- Sector HORECA.
- 2.- Empresa de biocombustibles.

3.- Gobierno Nacional.

- **Estrategias**

Las estrategias para el Sector HORECA son:

- 1.- Vender los residuos de ACUs a empresas de biocombustible.
- 2.- Vender los ACUs a compradores ilegales.

Las estrategias para la Empresa de biocombustible son:

- 1.- Comprar ACUs al sector HORECA.
- 2.- Comprar otra materia prima para la producción de biocombustible.

Las estrategias para el Gobierno son:

- 1.- Supervisar periódicamente al sector HORECA en el reciclaje y venta de los ACUs.
- 2.- Abstenerse a supervisar periódicamente al sector HORECA en el reciclaje y venta de los ACUs.

La función de utilidad para el sector HORECA es la siguiente:

$$u_{sh} = e_r + (P_{bi} + P_{il} + S_r - t_a)\xi q - f(1 - \xi)q \quad (6)$$

A continuación, se presentan los pagos para el sector HORECA:

e_r (ingresos HORECA).- Representa los ingresos básicos que el sector HORECA genera, que incluyen todas las ganancias obtenidas mediante sus actividades comerciales regulares.

$-f$ (sanción por no reciclar).- Es la sanción impuesto al sector HORECA en caso de no reciclar los ACUs. Esta sanción será establecida por el gobierno, con el fin de incentivar el reciclaje.

q (cantidad total de ACUs generada por el sector HORECA).- Indica la cantidad total de ACUs generados por el sector HORECA en un período de tiempo determinado.

P_{bi} (pago de las empresas por residuos ACU).- Corresponde al pago que las empresas de biocombustible realizan al sector HORECA por los ACUs.

P_{il} (pago de los vendedores ilegales por ACUs).- Corresponde al pago que los vendedores ilegales realizan al sector HORECA por los ACUs.

$-t_a$ (tarifa de eliminación de ACUs): Es el monto que el sector HORECA debe pagar al gobierno para que este se haga cargo de la gestión de los ACUs, cuando la empresa de biocombustible decida comprar otra materia prima.

S_r (incentivos del gobierno por reciclar).- Son incentivos económicos ofrecidos por el gobierno para estimular el reciclaje de los ACUs.

$(P_{bi} + P_{il} + S_r)$ (ingresos extras).- Representa los ingresos adicionales obtenidos por el sector HORECA debido a los pagos de las empresas y vendedores ilegales que deciden comprar ACUs y los incentivos proporcionados por el gobierno. Estos ingresos extras pueden influir en la decisión del sector HORECA de participar en programas de reciclaje.

ξ (Proporción de ACUs que se venderá a la empresa de biocombustible).- Indica la fracción de los ACUs generados por el sector HORECA que serán vendidos a la empresa para generar biocombustible.

$(1 - \xi)$ (Proporción de ACUs a vendedores ilegales).-Representa la fracción de los ACUs generados por el sector HORECA que serán vendidos ilegalmente.

La función de utilidad para la empresa biocombustible es la siguiente:

$$u_{bio} = (\lambda e_f + S_c - P_{bi} - C_r) \xi q + e_t - C_t \quad (7)$$

A continuación, se presentan los pagos para la empresa biocombustible:

e_f (ingresos por venta de biocombustible).- Representa los ingresos que tiene la empresa por la venta de biocombustibles.

q (cantidad total de ACUs generada por el sector HORECA).- Indica la cantidad total ACUs generados por el sector HORECA en un período de tiempo determinado.

$-P_{bi}$ (pago al sector HORECA por residuos ACUs).- Es el pago realizado por la empresa de biocombustible al sector HORECA, por los ACUs comprados.

$-C_r$ (costos de refinamiento).- Costos asociados al refinamiento de los residuos ACUs para la producción de biocombustible.

S_c (incentivos del gobierno por aprovechamiento de ACUs).- Son los incentivos económicos proporcionados por el gobierno para estimular el aprovechamiento de los ACUs para producir biocombustible.

$(e_f + S_c)$ (ingresos extras).- Representa los ingresos obtenidos por la venta de biocombustibles y los incentivos proporcionados por el gobierno.

ξ (Proporción de ACUs que se venderá a la empresa de biocombustible).- Indica la fracción de los ACUs generados por el sector HORECA que serán vendidos a la empresa para generar biocombustible.

C_t (costo de producción).- Representa el costo de producción o los gastos asociados a la fabricación otros productos.

e_t (ingresos de vender otros productos).- Ingresos generados por la venta de otros productos.

λ (Coeficiente conversión de material crudo).- Es la proporción de biocombustible obtenido de una cantidad dada de ACUs.

La función de utilidad para el Gobierno Nacional es la siguiente:

$$u_{gn} = (W_u + t_a - C_g - S_c - S_r) \xi q + (f - W_d) (1 - \xi) q - C_s \quad (8)$$

A continuación, se presentan los pagos para el Gobierno Nacional:

W_u (beneficio social).- Representa el beneficio social obtenido por la sociedad en general como resultado de la implementación de prácticas de reciclaje de ACUs.

$-W_d$ (pérdida beneficio social).- Indica la disminución del beneficio social experimentado por la sociedad cuando el gobierno no participa en programas de reciclaje o gestión adecuada de ACUs.

f (sanción por no reciclar al sector HORECA).- Es la penalización impuesta al sector HORECA por no cumplir con las regulaciones o requisitos relacionados con el reciclaje de los ACUs.

q (cantidad total de ACUs generada por el sector HORECA).- Indica la cantidad total de ACU generados por el sector HORECA en un período de tiempo determinado.

$-S_r$ (incentivos del gobierno por reciclar).- Representan los incentivos económicos proporcionados por el gobierno para estimular el reciclaje de los ACUs generados por el sector HORECA.

$-S_c$ (incentivos del gobierno por aprovechamiento de ACUs).- Son los incentivos económicos proporcionados por el gobierno para estimular el aprovechamiento de los ACUs para producir biocombustible.

$-C_s$ (Costo de supervisión del gobierno).- Corresponde al costo total en el que incurre el gobierno para llevar a cabo la supervisión y control de las actividades de reciclaje y gestión de ACUs por parte del sector HORECA. Este costo incluye gastos relacionados con la inspección, monitoreo, aplicación de regulaciones y otros aspectos relacionados con la supervisión de las prácticas de gestión de residuos.

t_a (tarifa de eliminación de basura): Es el monto que el sector HORECA debe pagar al gobierno para que este se haga cargo de la gestión de los ACUs, cuando la empresa de biocombustible decida comprar otra materia prima.

$-C_g$ (Costo de gestión): Corresponde al costo total en el que incurre el gobierno cuando tiene que gestionar los ACUs generados por el sector HORECA y que la empresa ha decidido no comprar.

$-C_{is}$ (Costos por inadecuada supervisión).- Costes de reparación por los efectos negativos provocados por la inadecuada o no supervisión. Esto tiene sentido, debido a que si los ACUs son vendidos a ilegales el gobierno debe tomar medidas para enfrentar a estos, por ejemplo, si los ACUs son usados en la fabricación de alimento animal se deberán tomar medidas para regularlo.

ξ (Proporción de ACUs que se venderá a la empresa de biocombustible).- Indica la fracción de los ACUs generados por el sector HORECA que serán vendidos a la empresa para generar biocombustible.

$(1 - \xi)$ (Proporción de ACUs a vendedores ilegales).-Representa la fracción de los ACUs generados por el sector HORECA que serán vendidos ilegalmente.

Todas las variables analizadas en las funciones de utilidad para este modelo vienen dadas en dólares por litro de ACUs (\$/l), a excepción de ξ , ξ_2 que es 0 ó 1, q , q_2 en litros, e_r , e_t en dólares y λ está entre 0 y 1.

4.2.3.1 Matriz de pagos Modelo G3

En el modelo G3 intervienen tres actores principales: el gobierno, el sector HORECA y la empresa que produce biocombustible. Cada uno de estos actores tiene la capacidad de tomar decisiones estratégicas; el gobierno puede decidir entre supervisar o abstenerse de supervisar el reciclaje de los ACUs. Por otro lado, el sector HORECA tiene la opción de vender los ACUs a empresas que producen biocombustible o a vendedores ilegales, y por último la empresa de biocombustible puede optar por comprar los residuos al sector HORECA o comprar otra materia prima.

Con lo expuesto, para el modelo $G_3 = \{J, S_1, S_2, S_3, u_1, u_2, u_3\}$, se tiene:

$$J = \{\text{Sector Horeca}, \text{Empresa Biocombustibles}, \text{Gobierno}\},$$

$$S_1 = \{\text{Vende ACUs a empresa de biocombustibles}, \text{Vende ACUs a ilegales}\},$$

$$S_2 = \{\text{Compra ACUs sector Horeca}, \text{Compra otra materia prima}\},$$

$$S_3 = \{\text{Abstenerse a supervisar}, \text{Supervisa}\},$$

$$u_1 = u_{sh}, u_2 = u_{bio} \text{ y } u_3 = u_{gn} \text{ definidas anteriormente.}$$

A continuación, se presenta la matriz de pago del modelo G_3 .

El Gobierno, se abstiene de supervisar periódicamente al sector HORECA en el reciclaje de ACUs.

Tabla 11. Matriz de pagos Modelo G_3 , cuando el gobierno se abstiene de supervisar.

GOBIERNO		EMPRESA BIOCOMBUSTIBLE	
SECTOR HORECA		Abstenerse a supervisar periódicamente al sector HORECA en el reciclaje de los ACUs	
		Compra ACUs al sector HORECA.	Comprar otra materia prima.
	Vender los ACUs a empresas de biocombustible.	A	C
		$e_r + (P_{bi} + S_r) \xi q; (\lambda e_f + S_c - P_{bi} - C_r) \xi q; (W_u - S_c - S_r) \xi q - C_{is}$	$e_r - t_a \xi q; e_t - C_t; (t_a - C_g) - C_{is}$
		B	D

	Vender los ACUs a compradores ilegales.	$e_r + (P_{il}) (1 - \xi)q; 0; (-W_d) (1 - \xi) q - C_{is}$	$e_r + (P_{il}) (1 - \xi)q; e_t - C_t; (-W_d) (1 - \xi) q - C_{is}$
--	---	---	---

Elaborado por: El autor.

El Gobierno, supervisa periódicamente al sector HORECA en el reciclaje de los ACUs.

Tabla 12. Matriz de pagos Modelo G3, cuando el gobierno supervisa.

GOBIERNO		EMPRESA BIOCOMBUSTIBLE	
Supervisar periódicamente al sector HORECA en el reciclaje de los ACUs.		Compra ACUs al sector HORECA.	Comprar otra materia prima.
SECTOR HORECA	Vender los ACUs a empresas de biocombustible.	E	G
		$e_r + (P_{bi} + S_r) \xi q; (\lambda e_f + S_c - P_{bi} - C_r) \xi q; (W_u - S_c - S_r) \xi q - C_s$	$e_r + (-t_a) \xi q; e_t - C_t; (W_u + t_a - C_g) \xi q - C_s$
	Vender los ACUs a compradores ilegales.	F	H
		$e_r + (P_{il} - f) (1 - \xi) q; 0; (f - W_d) (1 - \xi) q - C_s$	$e_r + (P_{il} - f) (1 - \xi) q; e_t - C_t; (f - W_d) (1 - \xi) q - C_s$

Elaborado por: El autor.

4.2.3.2 Escenario

Para este modelo consideraremos el siguiente escenario:

Los pagos de la empresa de biocombustible al sector HORECA por la venta de residuos de aceite (P_{bi}), junto con los incentivos gubernamentales para fomentar el reciclaje de estos residuos (S_r), superan los pagos realizados por los vendedores ilegales al sector HORECA por los mismos residuos (P_{il}), menos los costos asociados con la sanción impuesta al sector HORECA por el gobierno debido al incumplimiento del reciclaje de los ACUs (f), es decir, $P_{bi} + S_r > P_{il} - f$.

Se contempla que los costos de supervisión del gobierno (C_s) serán menores que los costos por una supervisión inadecuada (C_{is}), es decir $-C_{is} < -C_s$ y además, si agregamos a esto la sanción impuesta al sector HORECA (f) a los costos de supervisión del gobierno (C_s) se tiene $f - C_s > -C_{is}$ lo que implica $C_s - f < C_{is}$.

Por último, los ingresos netos esperados por la empresa gestora a través de la venta de biocombustible (e_f), sumados a los incentivos económicos proporcionados por el Gobierno para

fomentar el aprovechamiento de los ACUs (S_c), menos los costos asociados con la adquisición de los ACUs (P_{bi}) y el refinamiento (C_r), superarán los costos totales de producción (C_t) y los Ingresos generados por la venta de otros productos (e_t) de la empresa, es decir, $(\lambda e_f + S_c - P_{bi} - C_r)\xi q > e_t - C_t$.

4.2.3.3 Puntos de Equilibrio Modelo G3

A continuación, se presentan los puntos de equilibrio identificados en el modelo G3.

Para este único escenario se obtuvieron los siguientes puntos de equilibrio:

Equilibrio Punto E

Gobierno: $C_s > C_{is}$, $f - C_s > -C_{is}$

Sector HORECA: $P_{bi} + S_r > P_{il} - f$

Empresa Biocombustible: $(\lambda e_f + S_c - P_{bi} - C_r)\xi q > e_t - C_t$

En el punto E, se identifica un equilibrio en el cual el Gobierno asume la responsabilidad de supervisar periódicamente al sector HORECA en el reciclaje de los ACUs. En este escenario, el sector HORECA se enfrenta a la decisión de vender los ACUs a empresas de biocombustible o hacerlo de forma ilegal, tomando en cuenta que la empresa de biocombustible decide comprarle los ACUs. Para tomar esta decisión, se evalúan los ingresos que el sector HORECA recibirá por parte de la empresa de biocombustible (P_{bi}), sumados a los incentivos proporcionados por el Gobierno por el reciclaje (S_r), en comparación con las sanciones que enfrentará por una venta ilegal del residuo (f) junto a los ingresos por venderle a los ilegales (P_{il}). Se concluye bajo las consideraciones de este escenario, que la venta a empresas de biocombustible es más ventajosa, ya que proporciona mayores ganancias y evita posibles sanciones, es decir, $P_{bi} + S_r > P_{il} - f$. Esto refleja que las sanciones impuestas no son lo suficientemente disuasorias para evitar la conducta ilegal. Yang y Shang (2021) señalan que cuando la supervisión y las sanciones gubernamentales son mínimas, los restaurantes están menos incentivados a cumplir con las regulaciones ambientales. Incluso si enfrentan alguna penalización, esta no representa una pérdida significativa en comparación con los beneficios económicos de la actividad ilegal, por lo que vender aceite usado a vendedores ambulantes ilegales se percibe como una opción rentable para los restaurantes. Zhang *et al.* (2017) menciona que, en China, las sanciones débiles aumentan la probabilidad de infracciones, por lo que es necesario aplicar políticas más severas que dispongan el cierre de restaurantes que realizan esta actividad ilegal, como en Estados Unidos y Japón.

Por otro lado, la empresa de biocombustible puede elegir adquirir los ACUs al sector HORECA o buscar otras materias primas para su producción de biocombustible, tomando en cuenta que el sector HORECA decide venderle sus ACUs. En este contexto, se consideran los ingresos de la empresa (e_f), junto con los incentivos del gobierno (S_c) y los costos asociados con la compra de residuos al sector HORECA (P_{bi}), así como el costo de refinamiento del aceite (C_r). Al comparar estos costos con los de producción de otros productos, la compra de ACUs al sector HORECA resulta más rentable, debido a las consideraciones de este escenario. Por lo tanto, la empresa optaría por esta opción para maximizar sus beneficios económicos.

Se contempla que los costos de supervisión del Gobierno (C_s) serán menores que los costos por una supervisión inadecuada (C_{is}), es decir $-C_{is} < -C_s$.

Equilibrio Punto H

Gobierno $f - C_s > -C_{is}$, entonces, $C_s - f < C_{is}$

Sector HORECA: $P_{il} - f > -t_a$

Empresa Biocombustible: $e_t - C_t > 0$

En el punto H, se establece un equilibrio en el cual el Gobierno se encarga de supervisar periódicamente al sector HORECA en el reciclaje de los ACUs. En este escenario, el sector HORECA se enfrenta a la decisión entre vender los ACUs a empresas de biocombustible o hacerlo de forma ilegal, considerando que la empresa de biocombustible decide adquirir otra materia prima para su producción.

Para evaluar esta decisión, se analizan los ingresos que el sector HORECA obtendrá por vender ilegalmente los ACUs, descontando la sanción impuesta por el gobierno dado por abstenerse a vender legalmente sus residuos, en comparación con la tarifa que tendría que pagar por la eliminación de los residuos para que el gobierno se encarga de la gestión de estos. En este contexto, resulta más conveniente para el sector HORECA optar por la venta ilegal de los residuos y pagar la sanción al gobierno, ya que esto representa un costo menor que la tarifa de eliminación de los residuos, es decir, $P_{il} - f > -t_a$.

Por otro lado, la empresa de biocombustible se enfrenta a la decisión de adquirir los ACUs del sector HORECA o buscar otra materia prima para la producción de biocombustible. Ante la imposibilidad de adquirir los ACUs por parte del sector HORECA, la empresa considera más beneficioso optar por otras materias primas para garantizar sus ingresos y cubrir los costos de producción, es decir, $e_t - C_t > 0$.

El Gobierno debe tomar la decisión entre supervisar al sector HORECA o abstenerse de hacerlo. Debido a que los costos de supervisión del gobierno (C_s) más la multa impuesta al sector HORECA al supervisar es mayor a costos por una supervisión inadecuada (C_{is}) en el caso de que se abstenga de hacerlo, es decir, $f - C_s > -C_{is}$ el Gobierno optara por supervisar.

Análisis del Equilibrio Punto E y H

Al comparar los equilibrios en los puntos E y H, se pueden identificar diferencias significativas en las estrategias adoptadas y las consecuencias resultantes:

En el punto E, el gobierno decide supervisar periódicamente al sector HORECA en el reciclaje de los ACUs. En este escenario, el sector HORECA tiene la opción de vender los residuos a empresas de biocombustible o de forma ilegal.

A pesar de que la empresa de biocombustible opta por comprar los ACUs, el Gobierno mantiene una vigilancia sobre las actividades de reciclaje del sector HORECA. Esta supervisión gubernamental podría disuadir al sector HORECA de realizar actividades ilegales, ya que existe un riesgo de ser detectado y sancionado. En este contexto, aunque el sector HORECA podría considerar vender los residuos de manera ilegal para evitar los costos de tratamiento, la presencia de supervisión gubernamental podría ser un factor disuasivo clave.

Por otro lado, en el punto H, el Gobierno también supervisa periódicamente al sector HORECA en el reciclaje de los ACUs, pero en este caso, la empresa de biocombustible decide buscar otra materia prima para su producción. Esto significa que el sector HORECA, al no tener un comprador para sus ACUs, opta por venderlos de forma ilegal. Además, al no haber una empresa que adquiera los ACUs, el gobierno se enfrenta a un desafío adicional para gestionar adecuadamente estos desechos.

Al comparar los equilibrios en los puntos E y H, se puede concluir que el equilibrio en el punto E parece ser más favorable. La presencia de una empresa compradora de los ACUs proporciona una salida legítima para estos residuos, lo que reduce la presión sobre el Gobierno para gestionarlos. Además, la supervisión gubernamental podría actuar como un disuasivo eficaz contra la venta ilegal de residuos, fomentando así un comportamiento más responsable por parte del sector HORECA.

Por lo tanto, el equilibrio en el punto E parece ser más sostenible y beneficioso tanto para el Gobierno como para el sector HORECA en términos de gestión de residuos y cumplimiento de

regulaciones ambientales. Yang y Shang (2021) determinaron que la supervisión gubernamental es esencial para incrementar la disposición de los restaurantes a entregar ACUs a las empresas de biocombustibles, siempre y cuando el precio combinado del reciclaje ofrecido y los subsidios gubernamentales superen el precio ofrecido por los vendedores ilegales. En este sentido, el Gobierno debe tomar medidas en contra de los vendedores ilegales, fortalecer el respaldo a la industria de los biocombustibles y promover la colaboración de los restaurantes en el suministro de ACUs a las empresas autorizadas.

Observación: En el escenario anterior, si asumimos que $-t_a > P_{il} - f$, solo existiría equilibrio en el punto E. En términos de gestión de ACUs, este modelo representaría el caso más conveniente. Por lo tanto, se debe considerar imponer una multa lo suficientemente alta para que el sector HORECA decida vender los residuos a la empresa de biocombustible. Esta medida es importante para incentivar el reciclaje adecuado de los ACUs y promover su gestión ambientalmente responsable.

En la siguiente Tabla 13 se plantean acciones concretas que se deben tomar para alcanzar el equilibrio en el punto E:

Tabla 13. Medidas a tomar en el Modelo G3	
Modelo G3	
MEDIDAS	DESCRIPCIÓN
Medidas Legislativas	• Poner una sanción suficientemente alta para que se cumpla $-t_a > P_{il} - f$. • Implementar incentivos para propiciar que el Sector HORECA no opte por vender ilegalmente ACUs.
Medidas de Gestión	• Supervisión periódica del Gobierno Nacional para evitar la venta ilegal de ACUs. • Llevar un registro que garantice que el Sector HORECA venda los ACUs a empresas que producen biocombustible.

Elaborado por: El autor.

CAPÍTULO V.

5.1 Conclusiones

- En el Ecuador, se observa una amplia normativa que regula la gestión y el manejo integral de residuos sólidos. Sin embargo, en lo que respecta a los ACUs, la situación es distinta, ya que no existe una normativa específica que aborde su gestión. Se destaca la presencia del principio de REP, contemplado en el artículo 33 del Código Orgánico del Ambiente, así como disposiciones en la Ley de Economía Circular en la que se establecen obligaciones para consumidores, productores, generadores, gestores, GAD y Distritos Metropolitanos en la gestión, separación y reciclaje de los residuos en general. A pesar de que estas disposiciones no están dirigidas específicamente a los ACUs, podrían proporcionar algunos lineamientos para un marco normativo inicial que conformen las bases para futuras regulaciones.
- En el modelo G_1 , el punto de equilibrio óptimo es el D, tanto el GAD Municipal como los residentes obtienen una utilidad mayor al gestionar y reciclar respectivamente. Para los residentes, el incentivo visto como la reinversión municipal propicia su participación. En cambio, para el GAD Municipal como los costos de inversión son nulos debido a la estructura organizativa REP, sus ganancias son mayores al gestionar.
- En el modelo G_2 , el equilibrio más conveniente se encuentra en el punto A, a pesar de que el gobierno se abstiene de supervisar directamente el reciclaje, el sector HORECA y la empresa gestora deciden reciclar y gestionar estos residuos debido a la mayor utilidad que les proporciona los incentivos del gobierno.
- En el modelo G_3 , el equilibrio más conveniente se encuentra en el punto E, donde todos participan en el proceso de gestión de ACUs, lo que resulta en una solución más beneficiosa tanto para el gobierno como para el sector HORECA en términos de gestión de residuos y cumplimiento de regulaciones ambientales. Además, esto beneficia a la empresa de biocombustibles al generar mayores ingresos.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda ampliar el marco normativo que incluya disposiciones específicas sobre la gestión de ACUs, tomando como referencia regulaciones existentes para otros tipos de residuos, como los aceites lubricantes. Esto implica la creación y aplicación de leyes, políticas y procedimientos que aborden aspectos clave de la gestión de estos residuos, como su recolección, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final, así como la implementación de normativas que asignen responsabilidades a los actores involucrados en la cadena de suministro de aceite de cocina.
- Considerar que los gobiernos incrementen las sanciones impuestas al sector HORECA en caso de incumplimiento en el reciclaje de los ACUs, especialmente en ausencia de incentivos gubernamentales, ya que, cuando la sanción supera la tarifa de eliminación de residuos, se observa que el sector HORECA se ve obligado a reciclar y vender sus residuos para evitar costos adicionales asociados a estos. Por lo tanto, resulta importante implementar multas severas para aquellos establecimientos que desechan el aceite de cocina usado de manera indiscriminada, así como para quienes participan en transacciones ilegales con estos residuos.

6. Referencias

- ARC & PIEPER (2018). Aceite reciclado de cocina. Quito, Ecuador. Recuperado de <https://www.arc.ec/2186/0/sobre-nosotros>.
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2017, 12 de Abril). Código Orgánico del Ambiente. <http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/05NOR2017-COA.pdf>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2018, 5 de Febrero). Código Orgánico Integral Penal. https://www.defensa.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2018/03/COIP_feb2018.pdf
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2021). Ley Orgánica De Economía Circular Inclusiva. <https://procuraduria.utpl.edu.ec/NormativaExterna/LEY%20ORG%C3%81NICA%20DE%20ECONOM%C3%8DA%20CIRCULAR%20INCLUSIVA.pdf>
- Asamblea Nacional del Ecuador . (2015, 18 de Diciembre). Ley Orgánica de Salud. <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/LEY-ORG%C3%81NICA-DE-SALUD4.pdf>
- Asya Magazinnik. 17.810 / 17.811. Game Theory. Spring 2021. Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCouseWare, <https://ocw.mit.edu/>. License: Creative Commons BY-NC-SA.
- Abreu, J. L. (2014). El Método de la Investigación. International Journal of Good Conscience, 9(3)195-204. [http://www.spentamexico.org/v9-n3/A17.9\(3\)195-204.pdf](http://www.spentamexico.org/v9-n3/A17.9(3)195-204.pdf)
- Andrade, N. y Moncada, J. (2020). Manejo de los residuos de aceite comestible en los expendios de comida. Ibarra, Ecuador. Sathiri: sembrador, 15 (2), 185 - 198. <https://doi.org/10.32645/13906925.987>
- Aguilar-Barojas, S., (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. Salud en Tabasco, 11 (1-2), 333 - 338. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48711206>
- Araujo J., Celis Ariza O.J., De Lima L. (2019). A Study on Production of Biodiesel from Waste Frying Oil. *Chemical Engineering Transactions*, 74, 157-162. doi:10.3303/CET1974027
- Ahmed, R. B., y Hossain, K. (2020). Waste cooking oil as an asphalt rejuvenator: A state of the art review. *Construction and Building Materials*, 230, 116985. doi:10.1016/j.conbuildmat.
- Bukowski, M. F. (2023). Pax Climatica: el equilibrio de Nash y la geopolítica del cambio climático. *Journal of Environmental Management*, 348. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119217>
- Castillo Ortiz, D. A. (2020). Estrategia para la gestión de aceites de cocina usados - ACU, en el casco urbano incluyendo los sectores doméstico, industrial y comercial del GAD Municipal de Cota, Cundinamarca [Tesis de Grado, Universidad de la Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/18
- Cámara de Comercio de Quito. (2021). La Fabril continúa apostando por el cuidado del medioambiente con el reciclaje de aceite usado de cocina y su transformación en biocombustible. <https://ccq.ec/la-fabril-continua-apostando-por-el-cuidado-del->

medioambiente-con-el-reciclaje-de-aceite-usado-de-cocina-y-su-transformacion-en-biocombustible/

- Campitelli, A., y Schebek, L. (2020). How is the performance of waste management systems assessed globally? A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 272. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122986>
- Codina, L. (2020). Cómo hacer revisiones bibliográficas tradicionales o sistemáticas utilizando bases de datos académicas. *Revista ORL*, 11(2), 139 – 153. <https://doi.org/10.14201/orl.22977>
- Cohen, C., Halfon, E., y Schwartz, M. (2021). Trust between municipality and residents: A game-theory model for municipal solid-waste recycling efficiency. *Waste Management*, 127, 30-36. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X21002166>
- Coelho, L. M., Lange, L. C., y Coelho, H. M. (2017). Multi-criteria decision making to support waste management: A critical review of current practices and methods. *Waste Management & Research*, 35(1), 3-28. <https://doi.org/10.1177/0734242X16664024>
- Chen, F., Chen, H., Guo, D., Han, S. y Long, R. (2018). How to achieve a cooperative mechanism of MSW source separation among individuals—An analysis based on evolutionary game theory. *Journal of Cleaner Production*, 195, 521-531. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618315737>
- Cheng, S., Chan, C. W., y Huang, G. H. (2003). Un enfoque integrado de análisis de decisiones de múltiples criterios y programación lineal entera mixta inexacta para la gestión de residuos sólidos. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 16(5-6), 543-554. [https://doi.org/10.1016/S0952-1976\(03\)00069-1](https://doi.org/10.1016/S0952-1976(03)00069-1)
- Cho, S., Kim, J., Park, H., y Heo, E. (2015). Incentives for waste cooking oil collection in South Korea: A contingent valuation approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 99, 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.04.003>
- Constitución de la Republica del Ecuador. (2008, 20 de Agosto). Constitución. <https://www.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/es/ec/ec030es.pdf>
- Curcio, A., Pellegrini, N., y Reyes, R. (2015). El reciclaje como alternativa de manejo de los residuos sólidos en el sector minas de Baruta, Estado Miranda, Venezuela. *Revista de Investigación*, 39 (86), 157-170. <https://www.redalyc.org/journal/3761/376144131008/html/>
- Fiestras, J., García I., Meca, A., y Mosquera, M. (2011). Teoría de juegos cooperativos y gestión de inventarios. *European Journal of Operational Research*, 210(3), 459-466. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.06.025>
- García, J. (2021). Gestión de residuos líquidos: análisis de la generación de AVUs en restaurantes y cafeterías de la comuna Cuatro de Villavicencio (Meta, Colombia). *Revista Boletín Redipe*, 10 (12), 424 - 444. <https://revista.redipe.org/index.php/1/article/view/1599/1511>

- da Silva César, A., Werderits, D. E., de Oliveira Saraiva, G. L., y da Silva Guabiroba, R. C. (2017). The potential of waste cooking oil as supply for the Brazilian biodiesel chain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 246-253. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.240>
- El Universo. (2021). Reciclar 140 toneladas de aceite usado de cocina al mes en Ecuador es nueva meta de iniciativa de empresa privada. *El Universo*. <https://www.eluniverso.com/noticias/economia/reciclar-140-toneladas-de-aceite-usado-de-cocina-al-mes-en-ecuador-es-nueva-meta-de-iniciativa-de-empresa-privada-nota/>
- González, I. y González, J. (2014). Aceites usados de cocina. Problemática ambiental, incidencias en redes de saneamiento y coste del tratamiento en depuradoras. <https://www.residusmunicipals.cat/uploads/activitats/docs/20170427092548.pdf>
- Hammond, E. W. (2003). Vegetable Oils, Types and Properties. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 5899–5904. doi:10.1016/b0-12-227055-x/01225-6
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2016). Módulo de información Ambiental en Hogares ESPND.
- Karmperis, A. C., Aravossis, K., Tatsiopoulou, I. P., y Sotirchos, A. (2013). Decision support models for solid waste management: Review and game-theoretic approaches. *Waste management*, 33 (5), 1290 - 1301. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X13000470>
- Lett, L. A., (2014). Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. *Revista Argentina de Microbiología*, 46 ,1 - 2. [https://doi.org/10.1016/S0325-7541\(14\)70039-2](https://doi.org/10.1016/S0325-7541(14)70039-2)
- Liu, T., Liu , Y., Wu, S., Xue, J., Li, Y., y Kang, X. (2018). Restaurants' behaviour, awareness, and willingness to submit waste cooking oil for biofuel production in Beijing. *Journal of Cleaner Production*, (204), 636-642. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.056>
- Luzuriag, J. C., Ochoa Salina, N., & Toledo Maca, E. (2023). Determinantes de la disposición final del aceite domiciliario en la ciudad de Loja 2023. *Revista Económica*, 12 (1). <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/economica/article/view/2023/1389>
- Madani, K. (2010). Game theory and water resources. *Journal of Hydrology*, 381 (3–4), 225 -238. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.11.045>.
- Ma, L., y Zhang, L. (2020). Evolutionary game analysis of construction waste recycling management in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 161. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104863>
- Matušinec J., Hrabec D., Šomplák R., Nevrlý V., Pecha J., Smejkalová V., Redutskiy Y. (2020). Cooking Oil and Fat Waste Management: A Review of the Current State. *Chemical Engineering Transactions*, 81 (x), 763 – 768. doi:10.3303/CET2081128.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2019). Acuerdo Ministerial N042.<https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Acuerdo-Ministerial-No.-042.pdf>

- Ministerio del Ambiente (2015, 04 de Mayo). ACUERDO NO. 061 REFORMA DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA. <http://www.cip.org.ec/attachments/article/2749/AM%20061%20REFORMA%20LIBRO%20VI%20TULSMA.pdf>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2015). Acuerdo Ministerial N061. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Acuerdo-Ministerial-No.-042.pdf>
- Morocho, F. E. (2019). Diagnóstico de la generación y disposición final del aceite vegetal residual en restaurantes y locales de comida rápida en la ciudad de Azogues provincia del Cañar [Tesis de Grado, Universidad de Cuenca]. Repositorio UCuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/31833/1/Trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n.pdf>
- Moya, Salazar, M. M., y Moya, Salazar, J. (2020). Biodegradación de residuos de aceite usado de cocina por hongos lipolíticos: Un estudio in vitro. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(2). <https://doi.org/10.20937/rica.53054>
- Münter, M. T. (2024). Teoría de juegos para la gestión. En *Módulo de Referencia en Ciencias Sociales*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13701-3.00196-1>
- Nieto, E. N. (2018). Tipos de Investigación. Universidad Santo Domingo de Guzmán. <http://repositorio.usdg.edu.pe/handle/USDG/34>
- Osicka, O. (2016). Game Theory in Waste Management. Master's thesis, Brno University of Technology. https://www.researchgate.net/publication/305758206_Game_Theory_in_Waste_Management
- Pascua, M., López, M., Lacayo Romero, M., y González Castro, E. (2020). Sistematización de experiencias en las capacitaciones realizadas en el uso y manejo del aceite vegetal usado. *Revista de la UNAN-Managua, Extensión Universitario*, 2 (3), 55 - 71. <https://www.camjol.info/index.php/recoso/article/view/13419/15550>
- Palafox-Alcantar, P. G., Hunt, D. V. L., y Rogers, C. D. F. (2020). The complementary use of game theory for the circular economy: A review of waste management decision-making methods in civil engineering. *Waste Management*, 102, 598 - 612. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X19307111>
- Pérez, J., Jimeno, J., y Cerdá, E. (2004). Teoría de Juegos. Pearson Educación, S.A.
- Pires, A., Martinho, G., y Chang, N.-B. (2011). Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. *Journal of Environmental Management*, 92(4), 1033-1050. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.024>
- Prieto Guerrero, M. E.; Robalino Zambrano, D. A.; Sarduy-Pereira, L. B.; Villavicencio Montoya, J. F. y Diéguez-Santana, K. (2022). Evaluación de estrategias de gestión de aceites de cocina usados. Caso de estudio Puyo, Amazonia Ecuatoriana. *Revista EIA*, 19 (38), 1 - 21. <https://doi.org/10.24050/reia.v19i38.1545>

- Ramos, J. L. (2017). Razones de los administradores de restaurantes menú en el cercado de lima, para no reciclar aceite vegetal usado [Tesis de Grado, Universidad San Ignacio de Loyola]. Repositorio USIL. <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/6afb8db4-dd08-4e86-adb3-aeb39a41f826/content>
- Rendón-Macías, M. E., Villasís-Keeve, M. Á., y Miranda-Novales, M. G. (2016). Estadística descriptiva. *Revista Alergia México*, 63 (4), 397 – 407. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=486755026009>
- Restrepo Carvajal, C. A., (2009). Aproximación a la teoría de juegos. *Revista Ciencias Estratégicas*, 17(22), 157-175. <https://www.redalyc.org/pdf/1513/151313682002.pdf>
- Rojas Cairampoma, M., (2015). Tipos de Investigación científica: Una simplificación de la complicada incoherente nomenclatura y clasificación. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 16 (1), 1 - 14. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63638739004>
- Serrano, V. V. (2019). Evaluación del uso y disposición final del aceite vegetal residual proveniente de comedores en general Villamil playas, Ecuador [Tesis de Grado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio UG. <https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/024edbd6-6fc7-4eaf-ad5d-0e81c3e53665/content>
- Secretaria de Ambiente del GAD Municipal de Quito (2014). Estudio de la línea base sobre el uso y consumo de los detergentes biodegradables y aceites comestibles de uso comercial y doméstico con la finalidad de plantear posibles políticas para su regulación e incentivos. Quito
- Soltani, A., Sadiq, R., y Hewage, K. (2016). Selecting sustainable waste-to-energy technologies for municipal solid waste treatment: A game theory approach for group decision-making. *Journal of Cleaner Production*, 113, 388-399. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.041>
- Suaterna, A. (2009). Revisiones La fritura de los alimentos: el aceite de fritura. *Perspectivas en Nutrición Humana*, 11 (1), 39 - 53. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/nutricion/article/view/9390/8646>
- Spink, P., (2007). Replantando la investigación de campo: relatos y lugares. *Fermentum. Revista Venezolana de Sociología y Antropología*, 17 (50), 561 - 574. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70505006>
- Tabio, D., Díaz, Y., Rondón, M., Fernández, E., Piloto-Rodríguez, R. (2017). Extracción de aceites de origen vegetal. La Habana: Universidad Tecnológica de La Habana. ISBN 978-959-261-553-3.
- Tian, M., y Zheng, Y. (2022). How to reduce food waste caused by normative illusion? A study based on evolutionary game model analysis. *Foods*, 11(14), 2162. <https://doi.org/10.3390/foods11142162>
- Tsai, W. (2019). Mandatory Recycling of Waste Cooking Oil from Residential and Commercial Sectors in Taiwan. *Resources*, 8 (1), 38. doi:10.3390/resources8010038

- Tsan-Ming Choi, Ata Allah Taleizadeh y Xiaohang Yue. (2020). Game theory applications in production research in the sharing and circular economy era. *International Journal of Production Research*, 58 (1), 118 – 127. DOI: 10.1080/00207543.2019.1681137
- Vanegas, M., y Pascal, J. (2014). Equilibrio de Nash y resolución de conflictos. *Revista de Ciencias Sociales*, 20(4), 658-677. <https://www.redalyc.org/pdf/280/28032820004.pdf>
- Villabona Ortiz, A., Iriarte Pico, R., y Tejada Tovar, C. (2017). Alternativas para el aprovechamiento integral de residuos grasos de procesos de fritura. *Teknos Revista Científica*, 17 (1), 21 – 29.
- Wang, Y., Dong, B., y Ge, J. (2024). How can the recycling of power batteries for EVs be promoted in China? A multiparty cooperative game analysis. *Waste Management*, 186, 64-76. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.06.005>
- Wang, Y., Xiao, L., Lv, J., Ji, J., Zhang, M., Li, J., Su, W., & Qian, G. (2024). Carbon tax-driven technological innovation may accelerate the directional recovery of waste cooking oil into bio-jet fuel: An evolutionary game approach. *Science of The Total Environment*, 931. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172886>
- Wicaksono, P. A., Hartini, S., y Nabila, T. Y. (2020). Game Theory Application for Circular Economy Model in Furniture Industry. *Earth and Environmental Science*, 448 (1), 012061. 10.1088/1755-1315/448/1/012061
- Yang, J., y Shan, H. (2021). The willingness of submitting waste cooking oil (WCO) to biofuel companies in China: An evolutionary analysis in catering networks. *Journal of Cleaner Production*, (282). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125331>
- Zarate Gamarra, J. A., Luján Rojas, J. M., y Laque Fernández, G. I. (2021). Índice de aceites residuales de cocina para la producción de biodiésel en las provincias de Lima y Trujillo. *Proceedings of the 2021 LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology, Virtual Edition*. https://www.laccei.org/LEIRD2021-VirtualEdition/full_papers/FP35.pdf
- Zhao, Y., Wang, C., Zhang, L., Chang, Y., y Hao, Y. (2021). Converting waste cooking oil to biodiesel in China: Environmental impacts and economic feasibility. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 140, 110661. doi:10.1016/j.rser.2020.110661
- Zhang, H., Xu, Z., Zhou, D., y Cao, J. (2017). Waste cooking oil-to-energy under incomplete information: Identifying policy options through an evolutionary game. *Applied Energy*, 185, 547-555. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.10.133>
- Zhang, D., Cao, Y., Wang, Y., y Ding, G. (2020). Operational effectiveness of funding for waste electrical and electronic equipment disposal in China: an analysis based on game theory. *Resources, Conservation and Recycling*, 152, 104514. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344919304203>
- Zheng, T., Wang, B., Rajaeifar, M. A., Heidrich, O., Zheng, J., Liang, Y., y Zhang, H. (2020). How government policies can make waste cooking oil-to-biodiesel supply chains more efficient and sustainable. *Journal of Cleaner Production*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121494>

Zurbrügg, C., Caniato, M., y Vaccari, M. (2014). How assessment methods can support solid waste management in developing countries—A critical review. *Sustainability*, 6(2), 545-570. <https://doi.org/10.3390/su6020545>

Anexos

Anexo A. Legislación vigente en el Ecuador sobre la gestión de residuos.

NORMATIVA	DESCRIPCIÓN
CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR La Constitución de la República del Ecuador, marcó un hito significativo en la legislación ambiental del país. Centrada en los derechos humanos, se introdujeron disposiciones que abordan la protección del medio ambiente, así como el reconocimiento pionero de los derechos inherentes de la naturaleza. Este enfoque refleja un cambio paradigmático hacia un modelo de desarrollo sustentado en el concepto de "buen vivir". Se abordan una amplia gama de temas, desde los principios fundamentales hasta los derechos ambientales y la gestión sostenible de los recursos naturales.	Art. 10.- Las personas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos son titulares y gozarán de los derechos garantizados en la Constitución y en los instrumentos internacionales. La naturaleza será sujeto de aquellos derechos que le reconozca la Constitución. Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, <i>sumak kawsay</i>. Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales: 1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras. 2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional. 3. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales.

CÓDIGO INTEGRAL PENAL El COIP constituye una herramienta legal fundamental para la protección del medio ambiente en el país. Este código establece una serie de sanciones y medidas coercitivas destinadas a prevenir y castigar las acciones que causen daños ambientales.	Art. 254.- Gestión prohibida o no autorizada de productos, residuos, desechos o sustancias peligrosas.- La persona que, contraviniendo lo establecido en la normativa vigente, desarrolle, produzca, tenga, disponga, queme, comercialice, introduzca, importe, transporte, almacene, deposite o use, productos, residuos, desechos y sustancias químicas o peligrosas, y con esto produzca daños graves a la biodiversidad y recursos naturales, será sancionada con pena privativa de libertad de uno a tres años. Art. 393.- Contravenciones de primera clase.- Será sancionado con trabajo comunitario de hasta cincuenta horas o pena privativa de libertad de uno a cinco días: 6. La persona que deliberadamente deposite basura, desechos, escombros o cualquier otro desperdicio en quebradas, ríos, mares o cualquier otro espacio no autorizado.
CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE El COA tiene como finalidad primordial asegurar el derecho de todas las personas a vivir en un entorno que promueva la salud y el equilibrio ecológico, así como proteger los derechos inherentes de la naturaleza para garantizar el buen vivir o sumak kawsay. Este código regula los derechos, responsabilidades y garantías ambientales consagrados en la Constitución, así como los	Art. 225.- Políticas generales de la gestión integral de los residuos y desechos. Serán de obligatorio cumplimiento las siguientes políticas generales: 1. El manejo integral de residuos y desechos, considerando prioritariamente la eliminación o disposición final más próxima a la fuente; 2. La responsabilidad extendida del productor o importador; 3. La minimización de riesgos sanitarios y ambientales, así como fitosanitarios y zoonosanitarios; 4. El fortalecimiento de la educación y cultura ambiental, la participación ciudadana y una mayor conciencia en relación con el manejo de los residuos y desechos; Art. 233.- Aplicación de la Responsabilidad extendida del Productor sobre la gestión de residuos y desechos no peligrosos, peligrosos y especiales. Art. 235.- De la gestión integral de los residuos y desechos peligrosos y especiales. Art. 236.- Fases de la gestión integral de residuos y desechos peligrosos y especiales. Art. 237.- Autorización administrativa para el generador y gestor de desechos peligrosos y especiales. Art. 238.- Responsabilidades del generador. Art. 239.- Disposiciones para la gestión de residuos y desechos peligrosos y especiales. Se aplicarán las siguientes disposiciones:

mecanismos que fortalecen su aplicación, con el propósito de garantizar la sostenibilidad, preservación, protección y restauración del ambiente.	2. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos definirán las rutas de circulación y áreas de transferencia, que serán habilitadas para el transporte de residuos y desechos peligrosos y especiales. Art. 242.- Del combate al tráfico ilícito de sustancias químicas, residuos y desechos no peligrosos, peligrosos o especiales. Art. 282.- Criterios para el otorgamiento de incentivos. La Autoridad Ambiental Nacional tendrá en cuenta los siguientes criterios para diseñar y otorgar incentivos ambientales: 7. La gestión integral de sustancias químicas, residuos y desechos.
LEY ORGÁNICA DE SALUD La Ley Orgánica de Salud (2015) busca regular las acciones para garantizar el derecho universal a la salud, tal como lo establecen la Constitución y la ley. Se basa en principios como equidad, integralidad, solidaridad y eficiencia, y adopta un enfoque que considera los derechos, la diversidad cultural, así como aspectos éticos relacionados con la salud.	Art. 97.- La autoridad sanitaria nacional dictará las normas para el manejo de todo tipo de desechos y residuos que afecten la salud humana; normas que serán de cumplimiento obligatorio para las personas naturales y jurídicas. Art. 98.- La autoridad sanitaria nacional, en coordinación con las entidades públicas o privadas, promoverá programas y campañas de información y educación para el manejo de desechos y residuos. Art. 100.- La recolección, transporte, tratamiento y disposición final de desechos es responsabilidad de los GAD Municipales que la realizarán de acuerdo con las leyes, reglamentos y ordenanzas que se dicten para el efecto, con observancia de las normas de bioseguridad y control determinadas por la autoridad sanitaria nacional. El Estado entregará los recursos necesarios para el cumplimiento de lo dispuesto en este artículo.
LEY ORGÁNICA DE ECONOMÍA CIRCULAR La Ley Orgánica de Economía Circular (2021) tiene como objetivo definir las atribuciones y responsabilidades del	Art. 19.-Responsabilidad extendida del productor.-Los productores, conforme lo dispuesto al artículo 233 del Código Orgánico del Ambiente, tienen la responsabilidad de la gestión del producto en todo el ciclo de vida del mismo. Art. 20.-Obligaciones sobre responsabilidad extendida del productor para productores de productos prioritarios. Art. 29.-De las obligaciones de los consumidores.-Todos los ciudadanos, consumidores de productos prioritarios, estarán obligados, por norma homologada

sector público en este ámbito. Establece criterios para promover el ecodiseño, la producción sostenible y la reducción de residuos, así como para fomentar la gestión integral de los mismos. Además, busca desarrollar políticas públicas y financiamiento para una economía circular inclusiva, con el fin de mejorar el bienestar económico, generar empleo y promover el desarrollo sostenible.	nacional y ordenanza de los Gobiernos Autónomos Descentralizados, a entregar el residuo de un producto prioritario al respectivo sistema de gestión, bajo las condiciones establecidas por estos e informadas a todos los involucrados. a) Es obligación de la ciudadanía, personas naturales y jurídicas, públicas y privadas, la separación en origen de los residuos sólidos tanto orgánicos como inorgánicos en circunscripciones donde se hayan implementado sistemas de recolección diferenciada. b) Los edificios, condominios y conjuntos habitacionales en general, contarán con dispositivos para separar y almacenar de manera adecuada y diferenciada los residuos en circunscripciones donde se hayan implementado sistemas de recolección diferenciada. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados adoptarán las disposiciones pertinentes de acuerdo con sus competencias. c) Es obligación de los establecimientos comerciales establecer buenas prácticas ambientales destinadas a la reducción, minimización y correcta separación de residuos sólidos en la fuente. d) Cumplir con las normas y recomendaciones técnicas establecidas por las autoridades competentes. e) Informar a las autoridades competentes de las infracciones que cometan los generadores y operadores de los residuos y desechos sólidos. f) Almacenar los residuos y desechos sólidos con sujeción a las normas sanitarias y ambientales. Art. 34.-Obligaciones de los generadores de residuos.-Todo generador de residuos deberá entregarlos a un gestor calificado autorizado para su almacenamiento y/o tratamiento, de acuerdo con la norma técnica vigente, excepto en los casos en que se verifique que no necesitan de gestor. Art. 35.-Obligaciones de los gestores de residuos.-Los gestores de residuos están obligados a: a) Manejar los residuos de acuerdo a las mejores prácticas ambientales, en conformidad a la normativa vigente, y con la o las autorizaciones correspondientes. b) Consignar en Registro Nacional Integrado de Emisiones y Transferencia de Residuos la información sobre: tipo, cantidad, costos, tarifa del servicio, origen, tratamiento y destino de los residuos. c) Todas las obligaciones que constan en el Código Orgánico del Ambiente y demás normativa vigente relacionada. Art. 36.-Autorización de los sistemas de gestión.-Los sistemas de gestión serán autorizados por los distintos niveles de gobierno, en función del alcance territorial del sistema.
--	---

	Art. 39.-Responsabilidades de GAD Municipales o Distritos Metropolitanos.-Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Distritos Metropolitanos, en el marco de sus competencias, recursos y realidades deberán: a) Recolectar, gestionar y/o disponer de los residuos y desechos que no sean procesados por los sistemas de gestión. b) Establecer ordenanzas y mecanismos para la recolección diferenciada de residuos, dentro de su planificación, competencias y requerimientos técnicos y financieros.
Acuerdo Ministerial N° 061 El Acuerdo Ministerial N° 061 (2015) establece procedimientos y regula las actividades y responsabilidades en materia de calidad ambiental en Ecuador. Además, establece principios obligatorios que guían las decisiones y actividades públicas y privadas respecto a la gestión de la calidad ambiental y la responsabilidad por daños ambientales, sin perjuicio de lo establecido en la Constitución y otras leyes.	Art. 47 Prioridad Nacional.- El Estado Ecuatoriano declara como prioridad nacional y como tal, de interés público y sometido a la tutela Estatal, la gestión integral de los residuos sólidos no peligrosos y desechos peligrosos y/o especiales. Art. 49 Políticas generales de la gestión integral de los residuos sólidos no peligrosos, desechos peligrosos y/o especiales.- Se establecen las siguientes: a) Manejo integral de residuos y/o desechos; b) Responsabilidad extendida del productor y/o importador; c) Minimización de generación de residuos y/o desechos; d) Minimización de riesgos sanitarios y ambientales; e) Fortalecimiento de la educación ambiental, la participación ciudadana y una mayor conciencia en relación con el manejo de los residuos y/o desechos; f) Fomento al desarrollo del aprovechamiento y valorización de los residuos y/o desechos, considerándolos un bien económico, mediante el establecimiento de herramientas de aplicación como el principio de jerarquización: 1. Prevención 2. Minimización de la generación en la fuente 3. Clasificación 4. Aprovechamiento y/o valorización, incluye el reuso y reciclaje 5. Tratamiento y 6. Disposición Final. g) Fomento a la investigación y uso de tecnologías que minimicen los impactos al ambiente y la salud; h) Aplicación del principio de prevención, precautorio, responsabilidad compartida, internalización de costos, derecho a la información, participación ciudadana e inclusión económica y social, con reconocimientos a través de incentivos, en los casos que aplique; i) Fomento al establecimiento de estándares mínimos para el manejo de residuos y/o desechos en las etapas de generación, almacenamiento temporal, recolección, transporte, aprovechamiento, tratamiento y

	disposición final; j) Sistematización y difusión del conocimiento e información, relacionados con los residuos y/o desechos entre todos los sectores; k) Aquellas que determine la Autoridad Ambiental Nacional a través de la norma técnica correspondiente. Art. 50 Responsabilidad extendida.- Los productores o importadores, según sea el caso, individual y colectivamente, tienen la responsabilidad de la gestión del producto a través de todo el ciclo de vida del mismo, incluyendo los impactos inherentes a la selección de los materiales, del proceso de producción de los mismos, así como los relativos al uso y disposición final de estos luego de su vida útil. Art. 52 Competencias.- La Autoridad Ambiental Nacional es la rectora en la aplicación del presente Capítulo y estará a cargo de lo siguiente: b) Coordinar con las instituciones estatales con competencias otorgadas por ley de la materia de este capítulo, la definición, regulación y formulación de políticas sobre gestión integral de los residuos no peligrosos, desechos peligrosos y/o especiales en todo el territorio nacional, para lo cual se establecerán los mecanismos y herramientas necesarias para tal efecto; f) Elaborar y ejecutar programas, planes y proyectos sobre la materia, así como analizar e impulsar las iniciativas de otras instituciones tendientes a conseguir un manejo ambiental racional de residuos sólidos no peligrosos, desechos peligrosos y/o especiales en el país; g) Organizar programas de capacitación técnica, educación y difusión de los riesgos asociados a la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos, desechos peligrosos y/o especiales y las medidas de respuesta frente a las afectaciones que pueden causar; h) Promover como objetivo principal, la aplicación de la jerarquización de residuos/desechos, la incorporación de tecnologías que no causen impactos negativos en el ambiente y la eliminación y/o disposición final de los residuos y/o desechos; m) Regular, controlar, vigilar, supervisar y fiscalizar la gestión de los residuos sólidos no peligrosos, desechos peligrosos y/o especiales en todas las fases de la gestión integral en coordinación con las instituciones competentes; u) Implementar un sistema de seguimiento sobre el manejo de los residuos sólidos no peligrosos, desechos peligrosos y/o especiales, con los organismos competentes de los efectos en la salud humana y el ambiente;
--	--

	Art. 57 Responsabilidades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales.- Garantizarán el manejo integral de residuos y/o desechos sólidos generados en el área de su competencia, ya sea por administración o mediante contratos con empresas públicas o privadas, bajo parámetros que garanticen la sanidad y preservación del ambiente. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán: a) Elaborar e implementar un Plan Municipal de Gestión Integral de Residuos Sólidos en concordancia con las políticas nacionales y al Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Art. 93 De los lugares para el almacenamiento de desechos peligrosos.- Los lugares para almacenamiento deberán cumplir con las siguientes condiciones mínimas: a) Ser lo suficientemente amplios para almacenar y manipular en forma segura los desechos peligrosos, así como contar con pasillos lo suficientemente amplios, que permitan el tránsito de montacargas mecánicos, electrónicos o manuales, así como el movimiento de los grupos de seguridad y bomberos en casos de emergencia; h) Para el caso de almacenamiento de desechos líquidos, el sitio debe contar con cubetos para contención de derrames o fosas de retención de derrames cuya capacidad sea del 110% del contenedor de mayor capacidad, además deben contar con trincheras o canaletas para conducir derrames a las fosas de retención con capacidad para contener una quinta parte de lo almacenado.
Acuerdo Ministerial N° 042	Art. 4 Son responsabilidades del Productor: • Obtener la autorización ambiental, otorgada por la Autoridad Ambiental competente, para las actividades de fabricación o formulación del aceite lubricante o aceites bases. • Obtener la autorización ambiental administrativa correspondiente al Registro de generador de residuos y desechos peligroso en el marco de la Responsabilidad Extendida ante la Autoridad Ambiental Naional. • Elaborar y presentar de manera individual o colectivamente el Plan de Gestión Integral de Aceites Lubricantes Usados y Envases Vacíos, conforme las disposiciones del presente instructivo. • Actualizar el Plan de Gestión Integral de Aceites Lubricantes Usados y Envases Vacíos

REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE Norma INEN 064 Este reglamento técnico establece los requisitos que deben cumplir las grasas y aceites comestibles con la finalidad de prevenir los riesgos para la salud y la vida de las personas y evitar prácticas que puedan inducir a error o engaño al consumidor.	2. CAMPO DE APLICACIÓN 4. CONDICIONES GENERALES Se prohíbe la comercialización de los aceites y mantecas provenientes de los procesos de frituras. 4.4 El aceite de canola no debe contener un porcentaje de ácido erúico mayor de 5%. 4.5 Los aceites vegetales comestibles deben ser refinados, presentar aspecto límpido, color característico, y no debe contener materias extrañas, sustancias que modifiquen su aroma y sabor o residuos de las sustancias empleadas para su refinación. 4.6 Los aceites comestibles vegetales deben ser extraídos de semillas sanas, limpias y en buen estado de conservación. 4.7 Las mantecas comestibles deben ser procesadas tomando en cuenta los principios de buenas prácticas de fabricación y con materias primas en perfecto estado de conservación. 12. AUTORIDAD DE VIGILANCIA Y CONTROL 12.1 De conformidad con lo que establece la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad, el Ministerio de Industrias y Productividad y el Ministerio de Salud pública que, en función de sus leyes constitutivas tengan facultades de fiscalización y supervisión, son las autoridades competentes para efectuar las labores de vigilancia y control del cumplimiento de los requisitos del presente reglamento técnico, y demandarán de los fabricantes nacionales e importadores de los productos contemplados en este reglamento técnico, la presentación de los certificados de conformidad respectivos. 12.2 Las autoridades de vigilancia del mercado ejercerán sus funciones de manera independiente, imparcial y objetiva, y dentro del ámbito de sus competencias. 13. RÉGIMEN DE SANCIONES 12.1 Los proveedores de estos productos que incumplan con lo establecido en este Reglamento Técnico Ecuatoriano recibirán las sanciones previstas en la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad y demás leyes vigentes, según el riesgo que implique para los consumidores y la gravedad del incumplimiento. 14. RESPONSABILIDAD DE LOS ORGANISMOS DE EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD
---	---

	13.1 Los organismos de certificación, laboratorios o demás instancias que hayan extendido certificados de conformidad o informes de laboratorio erróneos o que hayan adulterado deliberadamente los datos de los ensayos de laboratorio o de los certificados, tendrán responsabilidad administrativa, civil, penal y/o fiscal de acuerdo con lo establecido en la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad y demás leyes vigentes.
NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2841 2014-03 GESTIÓN AMBIENTAL. ESTANDARIZACIÓN DE COLORES PARA RECIPIENTES DE DEPÓSITO Y ALMACENAMIENTO TEMPORAL DE RESIDUOS SÓLIDOS	OBJETO.- Esta norma establece los colores para los recipientes de depósito y almacenamiento temporal de residuos sólidos con el fin de fomentar la separación en la fuente de generación y la recolección selectiva. 2. CAMPO DE APLICACIÓN Esta norma se aplica a la identificación de todos los recipientes de depósito y almacenamiento temporal de residuos sólidos generados en las diversas fuentes: doméstica, industrial, comercial, institucional y de servicios. Se excluyen los residuos sólidos peligrosos y especiales. 4. TERMINOS Y DEFINICIONES 4.1 Acopio o almacenamiento temporal. Acción de mantener temporalmente los residuos en un sitio definido para luego ser enviados a aprovechamiento, tratamiento o disposición final. 4.2 Aprovechamiento. Conjunto de acciones o procesos asociados mediante los cuales, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, se procura dar valor a los residuos reincorporando a los materiales recuperados a un nuevo ciclo económico y productivo en forma eficiente, ya sea por medio de la reutilización, el reciclaje, el tratamiento térmico con fines de generación de energía y obtención de subproductos, o por medio del compostaje en el caso de residuos orgánicos o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales y/o económicos. 6. CÓDIGO DE COLORES

Anexo B. Ejemplo práctico del Modelo G1

Debido a que no se encuentran estudios que considere cada una de las variables analizadas en el modelo G1 en Ecuador, a continuación, se estudia un caso hipotético basado en referencias de otros estudios en diferentes países.

En Korea, de acuerdo a Cho *et al.* (2015) el precio por reciclar sería 0.70 \$ si los residentes deben llevar sus ACUs a un lugar específico de recolección (drop - off system) y 0.21\$ si el reciclaje es en sus aceras (curbside system). Además, el costo de tratar 1 litro de ACUs en España es de 0.46 euros igual 0.50 centavos de dólar de acuerdo con Gonzales y Gonzales (2014) lo cual se toma como costo de tratamiento y ahorro de tratamiento.

Finalmente, 0.48 centavos por litro es lo que paga la empresa Arc Piper por el reciclaje de ACUs, esto se considerará como el reembolso de reciclaje. A pesar, de la dificultad de valorizar monetariamente la satisfacción por reciclar V_d (para lo cual debiera realizarse un estudio previo de valoración contingente), se consideran dos escenarios, uno optimista donde los residentes $V_d = 0.25\$/l$ y otro pesimista donde $V_d = 0$, es decir, no poseen satisfacción al reciclar. Si se considera drop - off system el valor de las variables para el modelo G1 son las siguientes:

Modelo Optimista

$$C_t = 0.50\$/l$$

$$C_{ta} = 0.50\$/l$$

$$R_r = 0.48\$/l$$

$$V_d = 0.25\$/l$$

$$P_r = 0.21\$/l$$

$$C_i = 0$$

$\gamma = 0$ (como $V_d > P_r$ se considera que no es necesario que el municipio reinvierta)

		GAD MUNICIPAL	
		Abstenerse a gestionar los ACUs	Gestionar los ACUs
RESIDENTES	Abstenerse a reciclar los ACUs	A	C
	Reciclar los ACUs	B	D
		0, -0.50	0, 0.50

		0.04,0.50	0.04,0.98
--	--	-----------	-----------

Es claro que el único punto de equilibrio considerando la solución de juego con el criterio del equilibrio de Nash es el punto D con una utilidad para los residentes de 0.04\$ y para el GAD Municipal 0.98\$.

Modelo pesimista

$$C_t = 0,50\$/l$$

$$C_{ta} = 0,50\$/l$$

$$R_r = 0,48\ \$/l$$

$$V_d = 0$$

$$P_r = 0,21\$/l$$

$$C_i = 0$$

$\gamma = 0.25$ (como $V_d < P_r$ se considerará una reinversión del 0,25% del municipio)

		GAD MUNICIPAL	
		Abstenerse a gestionar los ACUs	Gestionar los ACUs
RESIDENTES	Abstenerse a reciclar los ACUs	A	C
		0, -0.50	0, -0 - 0.50
	Reciclar los ACUs	B	D
		0 - 0.21, 0.50	0 + 0.25(0.48 + 0.50) - 0.21, (1 - 0.25)(0.48 + 0.50) - 0

Los puntos de equilibrio son A y D considerando la solución de juego con el criterio del equilibrio de Nash. En el punto D la utilidad para los residentes es de 0.035\$ y para el GAD Municipal 0.735\$. Debido a que se tienen 2 puntos de equilibrio, es necesario cooperación entre los actores involucrados, para alcanzar el equilibrio en el punto D, y se hace evidente la necesidad de la reinversión del municipio, es decir, $\gamma \neq 0$.