

## MODELO LINEAL VS DINÁMICO DE RECOLECCIÓN DE AUC PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

### LINEAR VS. DYNAMIC MODEL OF RECOLLECTION AUC FOR BIODIESEL PRODUCTION

Hernán Andrés Moreno-Abadía<sup>1</sup>  
 Jairo Alexander Lozano-Moreno<sup>2</sup>  
 Maritza Correa-Valencia<sup>3</sup>

#### Resumen

En este artículo se presenta la comparación de dos modelos para la recolección de Aceite Usado de Cocina (AUC) para la producción de biodiesel donde se tomó a la ciudad de Santiago de Cali como caso de estudio. La propuesta nace a partir de los resultados obtenidos en un modelo con programación lineal entera mixta donde se usaron indicadores económicos, operacionales y ambientales, a partir de los cuales se presenta la propuesta de un modelo usando dinámica de sistemas en el cual se conservan las variables del modelo lineal y se incluyen otras con el fin de detallar mejor el sistema. El modelo dinámico presenta resultados similares al modelo lineal, con una diferencia porcentual máxima de 7.8%. El estudio también identificó que el 23.93% del aceite de cocina consumido se convierte en AUC. Una reducción potencial de más de 13'000 ton de CO<sub>2</sub> al mes se podría alcanzar si el AUC recolectado se utilizara para producir biodiesel, y este a su vez reemplazara la misma cantidad de diésel en el punto de consumo. Se concluye que el modelo dinámico permite dar visualización en un periodo de tiempo largo el comportamiento que puede generar un sistema de recolección de AUC.

**Palabras claves:** AUC, Biodiesel, Modelo lineal, Modelo dinámico, Caso de estudio, Encuestas.

#### Abstract

The present paper presents a comparison of two models for supplying Waste Cooking Oil (WCO) to a biodiesel plant considering Santiago de Cali as a case study. The analysis takes the results obtained from a base model using mixed integer linear programming under economic, operational

Recibido: 10 de junio de 2020 / Evaluación: 20 de agosto de 2020 / Aprobado: 10 de octubre de 2020

<sup>1</sup> Ingeniero industrial. Miembro del Semillero de Investigación en Ingeniería Industrial. Universidad Autónoma de Occidente. Mail hernan.moreno@uao.edu.co. <https://orcid.org/0000-0003-0872-2748>

<sup>2</sup> Doctor de la École Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suiza), Magíster en Gestión Industrial de la Katholieke Universiteit Leuven (Bélgica). Postgraduado en Ingeniería de Organización Industrial de la Universidad de Zaragoza (España). Ingeniero Industrial de la Universidad de Ibagué. Profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Occidente (UAO). Miembro del Grupo de Investigación en Competitividad y Productividad Empresarial (GICPE). Coordinador de la Especialización en Logística y director de la Maestría en Logística Integral de la UAO. Mail jlozano@uao.edu.co. <https://orcid.org/0000-0001-9139-5615>

<sup>3</sup> Doctora en Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial en 2010, Máster en Tecnologías de la Información en Fabricación en 2006, ambos de la Universidad Politécnica de Madrid (España). Ingeniera Industrial de la Universidad Autónoma de Occidente. Profesora de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Occidente (UAO). Miembro del Grupo de Investigación en Competitividad y Productividad Empresarial (GICPE). Mail mcorrea@uao.edu.co. <https://orcid.org/0000-0001-8464-2673>

and environmental indicators. Later, a system dynamic model is proposed, considering the linear model variables, and including others to enhance the model's outputs and scope. The system dynamic model's outputs were very close to the linear model, with a maximum percentage difference around 7.8%. The study also identified that 23.93% of the cooking oil consumed is converted into WCO. A potential reduction of 13'000 tons of CO<sub>2</sub> per month could be achieved if the collected WCO is used to produce biodiesel, and this biodiesel replace the same amount of diesel. It is concluded that the dynamic model allows to visualize the behavior that an AUC collection system can generate over a long period of time.

**Keywords:** AUC, Biodiesel, Linear model, dynamic model, case of study, poll

### Introducción

La actual dependencia en los combustibles fósiles no solo llama la atención debido a razones económicas, sino también por los impactos ambientales generados por el uso de este tipo de combustible. Aunque la naturaleza ofrece una gran variedad de fuentes de energía, su explotación es cuestión de cómo convertir la luz solar, el viento, la biomasa o el agua, en electricidad, calor o energía tan eficiente, sostenible y rentable como sea posible (IEA, 2010), sin perder de vista que los asuntos económicos son también asuntos medioambientales (Hernández, Franco y D'Andreis, 2017; Del Franco y Gómez, 2019). La base de recursos renovables es muy grande y puede satisfacer ampliamente una gran parte de la demanda de energía. Los biocombustibles aparecen como una opción confiable, especialmente para el sector del transporte, ya que podrían ser utilizados en el mercado actual compartiendo la infraestructura existente. Sin embargo, en las actuales condiciones del mercado, la mayoría de las energías renovables no son competitivas en términos de costos y dependen de diversas formas de incentivos involucrando no solo costos sino también impactos sociales e irónicamente ambientales (Hernandez Rodriguez & Hernandez Zarate, 2008).

Los biocombustibles se pueden clasificar de primera generación (1G) y segunda generación (2G) de acuerdo con el tipo de biomasa que utilicen. El primero es producido empleando tecnología convencional y se obtiene de insumos de procedencia agrícola y están conformados por las partes alimenticias de las plantas (Alvarez Maciel, 2009). El segundo es producido usando residuos agroindustriales y gramíneas forrajeras (plantas herbáceas) de alta producción de biomasa (Salinas Callejas & Gasca Quezada, 2009). Debido a sus impactos ambientales y sociales, la comunidad científica ha centrado su interés en el desarrollo de biocombustibles producidos a partir de biomasa no alimentaria, o biocombustibles de segunda generación.

La diferencia fundamental del biodiesel de 2G con respecto a la 1G radica en su elaboración a partir de materias primas que no se destinan a la alimentación y se cultivan en terrenos no agrícolas o marginales (Bermudez & Restrepo, 2011). Dicho esto, los biocombustibles de 2G cuentan con algunas ventajas frente a los de 1G como las siguientes: Uso de materias primas que no se emplean en otros mercados, en el caso de ser residuos pueden tener costes muy reducidos (Traxco S.A, 2012), necesitan menos recursos para su producción (fertilizantes, pesticidas, agua, terreno, otros) (Gonzales, Jimenez, Rodriguez-Susa, Restrepo, & Gomez, 2008), un mayor rendimiento en combustible o energía por hectárea, debido a que es posible aprovechar el total de la biomasa (Norbert, 2008) y la inexistencia de desviaciones de alimentos provenientes de la agricultura hacia el sector energético (Fajardo Montaña, 2018).

El presente artículo se enfocará en la recolección del aceite usado de cocina (AUC) para la producción de biocombustible de 2G, específicamente biodiesel (Llanos, 2019). El AUC ha sido

uno de los problemas medioambientales que afronta Colombia actualmente debido a pocas iniciativas, controles y deficientes diseños de rutas para su recolección (Paez, 2016). La ciudad de Santiago de Cali no ha sido ajena a este problema sin embargo se han realizado diferentes estudios con relación a la recolección del AUC. Un estudio realizado (Burbano Solarte & Vargas Dorado, 2013), demostró que, de 106 viviendas encuestadas en cuatro barrios del sur de la ciudad, el 45.28% arroja el AUC a la basura y solo el 18.87% lo reenvasan para entregarlo a un gestor legal. (Llanos, 2019) analiza estrategias para diseñar un punto naranja para la recolección del ACU valorizando residuos (cantidad, color, presencia de sólidos, acidez, potencial calorífico y humedad) dentro de la política de Campus Sostenible de la UAO. Otro estudio (Lozano Moreno & Benavides Valencia, 2018) determinó que actualmente la recolección de AUC se realiza empíricamente, desconociendo las herramientas y metodologías existentes para la formulación de modelos de recolección. Igualmente, resaltó los posibles costos generados por una mala planeación de la recolección y los impactos ambientales negativos que pueden presentarse por ello. Sin embargo, los resultados que presentan indican que las iniciativas de recolección actuales no son eficaces debido a la problemática social que se evidencia con la disposición actual que tiene los habitantes de la ciudad con respecto al AUC y la carencia de políticas ambientales en la ciudad.

Los estudios mencionados reflejan dos grandes problemas que presenta el AUC en la ciudad de Santiago de Cali. El primer problema gira alrededor del vertimiento del AUC al alcantarillado doméstico o industrial y, por consiguiente, la contaminación del recurso hídrico como lo indica (Gonzales Canal & Gonzales Ubierna): Un litro de aceite usado puede llegar a contaminar 1000 litros de agua. El vertimiento del AUC puede conllevar inicialmente al taponamiento de cañerías, un incremento de los costos operativos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la ciudad, o en el peor de los casos puede alcanzar una hídrica afectando la fauna y flora de esta. Actualmente el Ministerio del medio ambiente estimó que el 35% del aceite consumido es vertido directamente al alcantarillado lo que equivale a 59.5 millones de litros anuales (Semana Sostenible, 2017) (Cardenas, 2021). El segundo problema ocurre cuando el AUC, después de ser reutilizado tres o más veces, se torna potencialmente cancerígeno (Echevarria Restrepo, 2012). Este aceite, peligroso para la salud humana, está siendo recolectado por actores informales que lo recolectan, tratan con agentes químicos para modificar su apariencia física y nuevamente lo vuelven a comercializar causando problemas a la salud pública (Betancourt Velasquez, 2019).

Vale la pena resaltar que existen un grupo de empresas gestoras, encargadas de la recolección y tratamiento del AUC. Sin embargo, solo un pequeño listado se encuentra registrado y trabajando oficialmente bajo el marco legal de la Alcaldía. Estos gestores recogen en zonas de alta densidad el aceite de restaurantes para llevarlo a autos de conversión en biodiesel, minimizando los impactos mencionados anteriormente y contribuyendo al desarrollo sostenible de la región (Medina Ramirez, Chavez Vela, & Juaruengui Rincon, 2012). Sin embargo, esta estrategia no es completamente eficaz ya que actualmente no existe un marco de política pública que conlleve al incentivo económico por el aceite recolectado, y las personas encargadas de este proceso solo llegan al lugar cuando hay una cantidad mínima de aceite lo que conlleva a que algunas cantidades de AUC sigan siendo vertidas en el alcantarillado y perdiendo la oportunidad de producir biodiesel.

El presente estudio resalta la importancia de la energía renovable en la reducción de la dependencia en los combustibles fósiles, y el creciente interés en el uso de biocombustibles como fuente de energía para el sector del transporte, a través del diseño conceptual y modelamiento del suministro de biomasa para la producción de biodiesel de 2G. Es así como el propósito de este artículo gira alrededor del análisis de dos modelos de recolección de AUC en la ciudad Santiago de Cali en diferentes escenarios. El modelo propuesto podrá ser usado en otras ciudades

considerando inicialmente los puntos generadores de AUC junto con otras variables típicas del sistema de recolección.

### Desarrollo metodológico

De acuerdo con lo expuesto, el presente artículo plantea un modelo de recolección de AUC para la producción de biodiesel usando dinámica de sistemas usando como caso de estudio a la ciudad de Santiago de Cali. El modelo tuvo en cuenta diferentes tipos de factores cuantitativos con el propósito de lograr un buen aprovechamiento del AUC generado por los diferentes puntos y paralelamente, garantizar que el sistema sea eficiente, minimizando sus costos totales e impactos ambientales (García Díaz, Gandon Hernández, & Maqueira Tamayo, 2013) (Amaya, Ladino, & Malagon, 2018). El buen aprovechamiento, en el marco del presente estudio, se traduce en la utilización del AUC para la producción de biodiesel, disminuyendo la dependencia en los combustibles fósiles y generando un impacto positivo en los tres componentes que abarca el desarrollo sostenible (ambiental, económico y social) (Struffaldi, Silva Ruiz, Terezinha Kniess, & Portella Ribero, 2018).

El desarrollo metodológico consideró dos etapas fundamentales. La primera etapa inició con la construcción de un modelo dinámico el cual se comparó con el modelo de programación lineal propuesto por (Lozano Moreno & Benavides Valencia, 2018) con el fin de comprobar que el modelo propuesto se ajusta a la realidad de la ciudad de Santiago de Cali. En la segunda etapa se recolectó información directamente de los puntos de generación de AUC registrados ante la entidad ambiental. El levantamiento de la información se realizó a través de encuestas virtuales dada la actual situación sanitaria del país ocasionada por el Covid-19.

### Descripción del modelo

Para la creación del modelo dinámico se tuvo en cuenta el modelo lineal del artículo de (Lozano Moreno & Benavides Valencia, 2018) como modelo base, en el cual se analizaron diferentes estrategias para la recolección de AUC para la producción de biodiesel en el mismo caso de estudio de la ciudad de Santiago de Cali. Dicho estudio resaltó que no existía suficiente AUC para satisfacer la demanda de producción de biodiesel. Sin embargo, los autores propusieron un escenario mejorado considerando una estrategia para la densificación del radio de suministro apoyada en estrategia de apropiación social del conocimiento con la comunidad. La Tabla 1 resumen los principales indicadores del modelo lineal.

**Tabla 1.** Indicadores de rendimiento del modelo base.

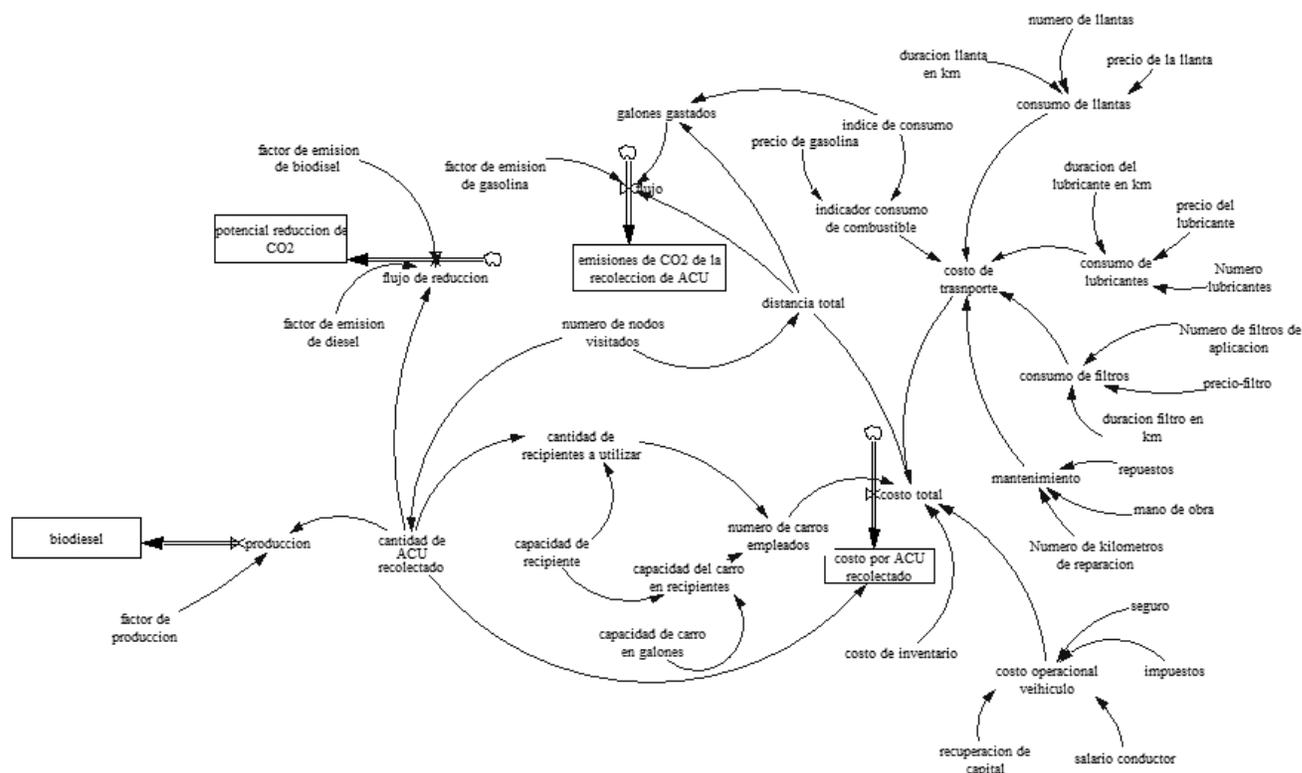
Indicador	Valor	
Potencial de reducción de CO <sub>2</sub>	kgCO <sub>2</sub>	39.58
Emisiones de CO <sub>2</sub> de la recolección AUC	kgCO <sub>2</sub>	12.51
Biodiesel producido	gal	52.09
Costos totales	COP	30'938.50
Costos operativos del vehículo	COP/d	29'434.00
Distancia total	Km	17.00
Aceite usado de cocina recolectado	COP/(AUC*gal)	23.79

**Fuente.** (Lozano Moreno & Benavides Valencia, 2018)

## Estructura del modelo

Teniendo como referente el modelo base mencionado anteriormente, se elaboró un modelo con Dinámica de Sistemas empleando el software Vensim; el cual mediante variables de nivel, flujo y auxiliares refleja la situación actual de la ciudad de Santiago de Cali con respecto al sistema de recolección de AUC. El diagrama de flujos del modelo desarrollado se presenta en la figura 1.

**Figura 1.** Diagrama de flujos del sistema de recolección en Santiago de Cali.



**Fuente.** Elaboración propia

El modelo propuesto en el presente artículo se elaboró actualizando los valores de los parámetros propuestos por el modelo base (Lozano Moreno & Benavides Valencia, 2018). Adicionalmente se agregaron los siguientes parámetros: precio de gasolina, capacidad del vehículo y cantidad de recipientes de recolección de AUC a utilizar y capacidad del carro en recipientes, con el fin de mejorar el alcance del modelo base.

## Levantamiento de la información

Para el desarrollo de un modelo dinámico que se ajuste a la realidad de la ciudad de Santiago de Cali, se realizó una encuesta virtual a propietarios de empresas generadoras de AUC registrados en el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA), restaurantes registrados en la Cámara de Comercio de Cali (CCC) y algunos restaurantes no registrados de diferentes tipos como cafeterías, panaderías, cocina de supermercados, asaderos, comidas rápidas,

fritangueras, taquerías, cocinas en universidades. Dichos puntos se contactaron de manera directa siempre hablando con el encargado del punto para que contestase la encuesta.

La encuesta se estructuró en cuatro grandes secciones, cada una con un objetivo específico. El primer grupo de interrogantes estaba enfocado a definir el perfil del generador de AUC y su ubicación, es decir, se identificaba dónde estaban los generadores. La segunda sección abordaba la cantidad de aceite consumido y de AUC generado por cada punto, las veces que este era reutilizado, la forma de almacenarlo después ser usado de nuevo y de qué manera lo desecha o entrega a los gestores. En la tercera sección las preguntas se enfocaron en las características físicas del AUC sobrante (Color, viscosidad y sedimentos). En la última sección; se realizan tres preguntas sobre la apropiación social del conocimiento con el fin de conocer si la empresa comprende el impacto ambiental y social alrededor de la inadecuada disposición del AUC, así como su disposición para recolectar y almacenar el AUC de forma correcta. En resumen, la primera sección aborda la pregunta ¿dónde están los puntos de generación de AUC?, la segunda sección está enfocada en el ¿cuánto AUC se genera y con qué frecuencia?, la tercera sección en ¿cómo lo están desechando o disponiendo? Y la última en la percepción alrededor de los impactos del AUC.

Para la realización de las encuestas se procedió a definir el tamaño de la muestra a través de la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{E^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q} \quad (1)$$

Siendo:

N=Tamaño de la población

Z=Nivel de confianza

p= Probabilidad de éxito

q=Probabilidad de fracaso

E=Error

La siguiente tabla resume los valores utilizados para el cálculo del tamaño de la muestra:

**Tabla 2.** Parámetros estadísticos para el cálculo del tamaño de la muestra.

Parámetros		n
<b>N</b>	65	56
<b>Z</b>	1.96	
<b>p</b>	0.5	
<b>q</b>	0.5	
<b>E</b>	0.05	

**Fuente.** Elaboración propia

El resultado del cálculo del tamaño de la muestra arrojó un total de 56 puntos de generación de AUC a los cuales se les aplicó la encuesta.

## Implementación y resultados

### Caso de estudio

Los modelos dinámicos construidos en este artículo fueron validados con datos de la ciudad de Santiago de Cali. El estudio permitió tener información actual de cómo algunos restaurantes de disponen del AUC. Es importante aclarar que la ciudad caso de estudio cuenta con gran cantidad de puntos generadores de AUC que no pudieron ser considerados en el presente estudio debido a la situación frente a la pandemia mundial, pero dentro de los encuestados se pudo visualizar que los diversos objetos económicos. También es importante mencionar que en la ciudad existen nueve empresas recolectoras de AUC registradas en el DAGMA, las cuales no son eficientes en su labor dado que no logran abarcar la totalidad de la ciudad.

La administración y diversos entes de control en Santiago de Cali han venido trabajando en los últimos años en implementar políticas ambientales respecto al tema del uso, reserva, disposición y reutilización del AUC, pero solo hasta el 2019 el DAGMA inició con el registro de las empresas generadoras de aceite en términos de cantidades generadas de este residuo.

Adicionalmente, la población aún no tiene la suficiente consciencia y educación ambiental referente a los impactos en la salud, medio ambiente y sociedad que se generan debido a la reutilización, mal almacenamiento e inadecuada disposición final del AUC. (Valencia Ortiz, 2017) propone la gestión de manejo como un plan de reciclaje de residuos, obteniendo un beneficio social y ambiental al reducir la contaminación, dado que se siguen presentando vertimientos de este residuo en el alcantarillado.

### Comparación entre modelos

Para validar que el modelo propuesto en el presente estudio refleja el comportamiento esperado, la tabla 3 compila los resultados obtenidos en ambos modelos y realiza una comparación para cada indicador.

**Tabla 3.** Comparación entre el modelo lineal y modelo dinámico

Indicador	Unidad de medida	Valor modelo base	Valor modelo dinámico	Diferencia	% Error
Potencial de reducción de CO <sub>2</sub>	kgCO <sub>2</sub>	39.58	40.07	0.491	1,24%
Emisiones de CO <sub>2</sub> de la recolección AUC	kgCO <sub>2</sub>	12.51	12.50	0,1	0,08%
Biodiesel producido	Gal	52.09	53.43	1.34	2,57%
Costos totales	COP	30'938.50	33'351.80	2'413.30	7,80%
Costos operativos del vehículo	COP/d	29'434.00	29'434.00	\$0	0,00%
Distancia total	km	17.00	17.00	0	0,00%
AUC recolectado	COP/(AUC*gal)	\$23.79	\$23.81	\$0.02	0,08%

**Fuente.** Elaboración propia

Con los datos de la tabla 3 se puede validar que el modelo desarrollado en Dinámica de Sistemas se ajusta al sistema de recolección de AUC en la ciudad de Santiago de Cali ya que los errores absolutos de los principales indicadores (logísticos, ambientales y producción) en este modelo comparado con los mismos indicadores del modelo base no exceden el 7.8%. Esto nos indica que los datos reportables por el modelo dinámico son confiables.

Cabe resaltar que las diferencias presentadas se deben a que los datos suministrados al modelo dinámico fueron actualizados dado que la información del modelo base era del 2016, las variables como impuestos, costos operacionales y los referentes al tipo de vehículo a utilizar fueron modificados a valores del 2019, así como la adición de nuevos parámetros que ampliaron el alcance del modelo propuesto.

### Análisis de información

Para el análisis de los resultados obtenidos con las encuestas y el levantamiento de la información, se abordarán los enfoques presentados a través de las secciones en la encuesta, que fueron explicados anteriormente. En la figura 2 se puede observar la ubicación de los puntos muestreados en el presente estudio (izquierda) y la concentración del AUC (derecha). Esta información fue fundamental para definir el comportamiento del modelo y establecer las distancias y frecuencias de recolección.

**Figura 2.** Ubicación de los puntos generadores (izquierda) y concentración de AUC (derecha).



**Fuente.** Elaboración Propia

El total de los puntos encuestados consumen diariamente 194.53 galones de aceite, equivalente a un consumo promedio de 3.47 galones diarios por establecimiento. De este consumo diario se está generando 43,56 galones al día de AUC, es decir, el 23.93% del aceite de cocina consumido se convierte en AUC. En promedio, cada punto identificado genera diariamente 0.78 galones de AUC, cifra preocupante si se considera que pueden llegar a contaminar 624'185.98 galones de agua diarios si no se realiza la adecuada disposición, solamente con los puntos entrevistados.

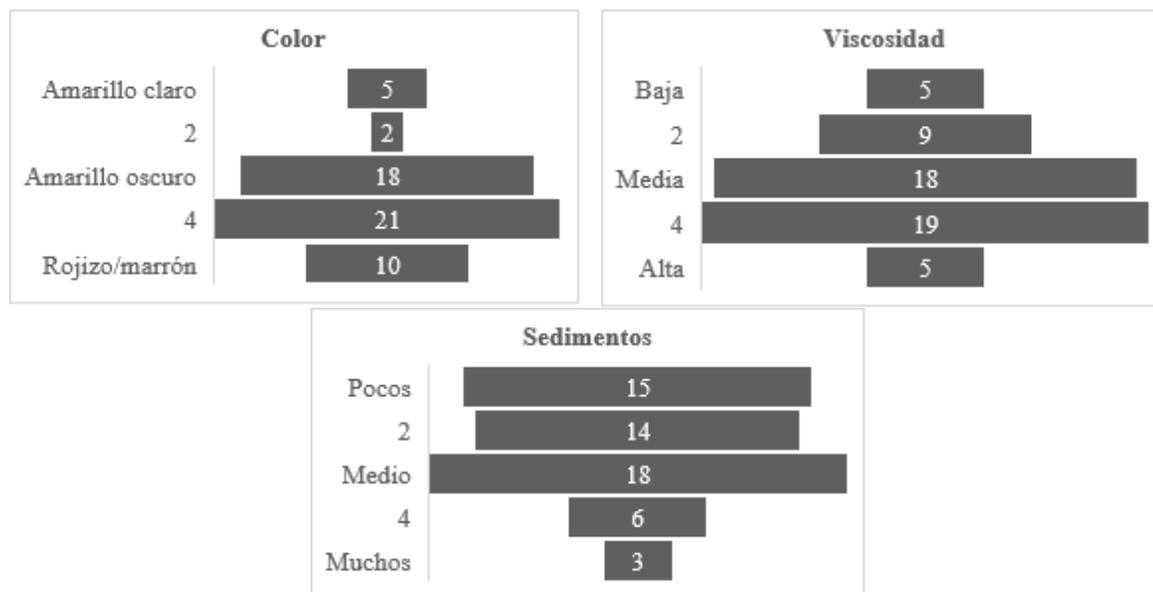
Por otra parte, la generación diaria de AUC mencionada anteriormente equivalen a 1'300 galones al mes aproximadamente. Si se utiliza una ratio de conversión de 0,8 galones de biodiesel

por galón de AUC según la tecnología sugerida (Lozano Moreno & Benavides Valencia, 2018), se podrían obtener alrededor de 1'045 galones de biodiesel al mes. Según (Fedebiocombustibles, 2020), Colombia tiene una mezcla de biodiésel con ACPM cercana al 10%. Tanto el biodiésel como el bioetanol son combustibles libres de azufre, hidrocarburos, aromáticos y parafinas, es decir, son reconocidos como combustibles limpios de acuerdo a la Resolución 2604 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Además, son combustibles “bajo en carbono”, debido a que el diésel emite 0,012 ton CO<sub>2</sub>/gal, el biodiésel emite solo 0,002 ton CO<sub>2</sub>/gal. En otras palabras, sí el AUC recolectado en el caso de estudio se utilizase para producir biodiesel, se lograría una reducción potencial de más de 13'000 ton de CO<sub>2</sub> cada mes, en el caso que el biodiésel producido reemplazara el diésel en el punto de consumo.

El 60.70% de los establecimientos entregan su AUC a un gestor oficial para su recolección. Este dato se debe a que los restaurantes encuestados están registrados tanto en la CCC como en el DAGMA como generadores de AUC. Lo preocupante de las cifras se centra en el 19.60% que lo entrega a un desconocido, el 8.92% lo bota a la basura y el 1.88% lo bota en la cañería. El 8.9% restante indica no tener sobrantes ni vertimientos de aceite.

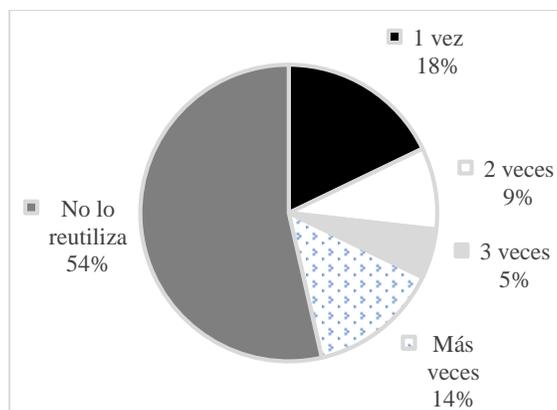
Por otro lado, el 78.57 % de los establecimientos indicaron que si conocen los impactos negativos de tirar el AUC a la basura o verterlo por la cañería. El 58,93% conoce los impactos sociales de entregar el AUC a fuentes no oficiales y este se ve reflejado en el alto porcentaje de establecimientos que lo entregan a un gestor de recolección. Por otra parte, el 19.64% que lo entrega a un desconocido, saben del impacto, pero no tienen suficiente conciencia al respecto. Esto en parte es debido a que los recolectores oficiales no llegan a sus locales, no conocen a ninguna institución prestadora del servicio o en ciertos casos fueron por algunos días y no regresaron. Es importante resaltar que la totalidad de los encuestados expresaron que están dispuestos a recolectar, almacenar y entregar el AUC a gestores oficiales con el fin de reducir los impactos negativos que trae consigo su inadecuada disposición. (Ferreira, Cesar, Conejero, & Guabiroba, 2018), demostraron que los actores de una cadena de logística inversa de AUC se vieron interesados en la creación de un punto de entrega voluntaria a través de alianzas y acuerdos, una vez fueron concientizados sobre los impactos generados por la mala disposición del AUC.

Complementariamente, con los datos recopilados se pudo hacer una valoración visual del estado en el que se encuentra el AUC en el momento de entregarlo o desecharlo. Se encontró que el 37.50% de los establecimientos dejan de usar el AUC cuando este toma un color marrón/rojizo, el 33.93% entrega el aceite con niveles altos de viscosidad y el 32.14% lo entregan con alto contenidos de sedimentos. Esta información de carácter cualitativo sirve como precedente para la relación de los atributos con pruebas fisicoquímicas de laboratorio que ayuden a caracterizar y controlar las características de la biomasa que influyen en la eficiencia de la tecnología de conversión de AUC a biodiesel. Todo lo anterior indica que cuando se usa el aceite de cocina gran porcentaje de los encuestados lo utiliza varias veces (figura 3).

**Figura 3.** Valoración de las características físicas del AUC

**Fuente.** Elaboracion Propia

De acuerdo con los resultados de las encuestas se evidenció con mayor detalle cuantas veces se utiliza el aceite de cocina en los restaurantes se obtuvo que el 53.57% no lo reutiliza, el 17.86% solamente una vez, el 8.93% dos veces, el 5.35% treces veces y el 14.29% restante lo utiliza más de tres veces. Lo anterior muestra que el 19.64% de los establecimientos encuestados lo utilizan tres o más veces lo que indica que ese porcentaje de aceite es el más perjudicial tanto para el medio ambiente como para la salud humana. Los resultados más detallados se muestran en la figura 4.

**Figura 4.** Número de veces que se reutiliza el AUC.

**Fuente.** Elaboración Propia.

Otro componente importante para considerar dentro del proceso de recolección es la forma en la cual los puntos generadores están almacenando el AUC. En el caso del presente estudio, el 62.41% de los establecimientos almacena el AUC en botellas plásticas, el 26.79% en recipientes

entregados por un tercero y el 8.92% en bolsas plásticas el 1,88% restante lo deposita directamente a la cañería. Este comportamiento es similar a otros estudios desarrollados en diferentes ciudades o casos de estudio (Andrade Villegas & Moncada Rangel, 2020), (Castañeda, Lechuga, González, & Martínez, 2017), (De Souza, Ribeiro, & Ventas, 2019), (Lopez Cruz, Rojas Vargas, & Boantes Sanchez, 2019).

Este último componente lleva enlazado el impacto que causan las botellas y bolsas plásticas en los rellenos sanitarios. Según el estudio desarrollado por la Clínica Jurídica de Medio Ambiente y Salud Pública (MASP) de la Facultad de Derecho de la Universidad de los Andes y Greenpeace Colombia, los sistemas de producción/consumo de plástico que actualmente subsisten en el país carecen de un sustento sostenible evidente (MASP, 2019). El mismo estudio sugiere que la estrategia más eficiente en términos de sostenibilidad ambiental y salubridad debe tender a la reducción de la producción de plástico, ya que su ciclo de vida es obsoleto.

### **Conclusiones y recomendaciones**

El modelo dinámico permite visualizar a lo largo del tiempo el comportamiento que puede presentar un sistema de recolección de AUC, permitiendo la implementación de variaciones que conlleven al análisis del sistema en diversos momentos, sin limitarse a un punto exacto en el tiempo como lo hace el modelo lineal.

El estudio permitió conocer el perfil de los puntos generadores de AUC identificados en la ciudad, dando el primer paso para conocer no solo la biomasa potencial (cantidad, frecuencia y ubicación del AUC) sino también la viabilidad económica, ambiental y social de su utilización para la producción de biocombustibles de segunda generación, en este caso biodiesel.

Por ello se debe recalcar que el modelo dinámico conlleva a la conclusión de que el incentivar por medio de diferentes políticas públicas tanto económicas como sancionatorias a las empresas y personas es de vital importancia para lograr un impacto positivo en la recolección y disposición del AUC dado que el país y la región no muestra una cultura necesaria para que las actividades que conformen a una conciencia ambiental con los residuos aprovechables sea propiciada por voluntad propia de los individuos de la sociedad, la cual, puede ser formada por una educación ambiental sólida, consciente y que fortalezca el cuidado al medio ambiente.

Así mismo, la problemática del residuo generado por el AUC es a nivel global y el modelo dinámico permite la apropiación en diferentes países, ajustando las variables para que el mismo se alinee con la realidad de las diversas sociedades, como también, permite abrir nuevos espacios para que demás autores continúen con el estudio desde un ámbito económico y financiero. Por ejemplo, (Zhang, Ozturk, Wang, & Zhao, 2014) compararon el modelo no solo el sistema logístico para la recolección sino también la política pública propuesta por Japón, Estados Unidos y China frente a la recolección y aprovechamiento del AUC. Complementariamente, (Tsai, 2019) revisaron las medidas regulatorias y promocionales en Taiwán bajo la autorización de un sistema legal de gestión de residuos.

Es importante resaltar que el alcance del presente estudio puede ser ampliado si se utilizan campañas de apropiación social del conocimiento que ayuden a densificar el radio de recolección de AUC. Lo anterior conllevará a ampliar el tamaño de la muestra de los puntos generadores y con ello la cantidad y confiabilidad de la información analizada. Complementaria se realizó un análisis de los atributos del AUC en los diferentes puntos de generación y con ello se definió un precedente para la relación de los atributos con pruebas fisicoquímicas de laboratorio que ayuden a caracterizar y controlar las características de la biomasa que influyen en la eficiencia de la

tecnología de conversión de AUC a biodiesel. Lo anterior soportado en el hecho que el aceite de cocina se está reutilizando en la mayor parte de los puntos de generación.

Al implementar mecanismos de logística inversa e innovación se determina la viabilidad para crear empresa de recolección, tratamiento y comercialización de AUC o de productos elaborados por medio de este recurso aprovechable, debido a que el residuo del aceite usado de cocina en diversos casos no se generan los beneficios económicos que se podrían obtener por medio de una adecuada disposición, gestión y recolección, todo lo anterior propende a que la sociedad o comunidad se vea beneficiada en su calidad de vida y reducción de diversos tipos de contaminación. (Casallas Olaya, 2017) propone una metodología para determinar la Prefactibilidad técnico-económica para el montaje de una planta procesadora de AUC en Bogotá, abordando el problema desde tres enfoques: Mercado, tecno-económico y financiero.

Por último, se puede expresar que se pueden agregar más variables en el modelo dinámico, en la que se pueda relacionar por ejemplo variables como estrato o diferentes tipos de establecimientos comerciales y cantidad de alimento que produciría el aceite usado determinado por hábitos alimenticios de la cultura. Por último, adicionalmente el proceso de recolección podría llegar a ser más eficiente si se cuentan con diversos puntos en la ciudad.

### Referencias bibliográficas

- Alvarez Maciel, C. (2009). Biocombustibles: desarrollo historico-tecnologico, mercados actuales y comercio internacional. *Universidad Nacional Autonoma de Mexico*, 63-89.
- Amaya, B., Ladino, J., & Malagon, D. (2018). Algoritmo paramétrico para el estudio de viabilidad técnica y económica de plantas de producción de biodiesel a pequeña y mediana escala en Colombia. *Transacciones de ingeniería química*, 505 - 510.
- Andrade Villegas, N., & Moncada Rangel, J. (2020). Manejo de los residuos de aceite comestible en los expendios de comida en Ibarra, Ecuador. *Revista sathiri: sembrador*. Obtenido de <https://revistasdigitales.upec.edu.ec/index.php/sathiri/article/view/987/2380>
- Bermudez, A., & Restrepo, L. (11 de Diciembre de 2011). *Industria y Comercio: Superintendencia*. Obtenido de *Industria y Comercio:Superintendencia*: <https://www.sic.gov.co/>
- Betancourt Velasquez, O. D. (2019). Viabilidad de una empresa de recolección, transformación y distribución de aceite de cocina en la ciudad de Bogotá. *Universidad catolica de Colombia*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/24249>
- Burbano Solarte, N., & Vargas Dorado, M. (2013). *Diseño de las estrategias de recoleccion del aceite de cocina usado para su reutilizacion en la produccion de biodiesel en cuatro(4) barrios de la ciudad de Cali (Tesis de pregrado)*. Colombia: Universidad Autonoma de occidente. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/5196/1/TIA01580.pdf>
- Cardenas, N. J. (2021). Gestión integral del aceite usado de cocina en los restaurantes de la zona de comidas del casco urbano de San José del Guaviare. *Universidad EAN*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10882/10500>.
- Casallas Olaya, I. D. (2017). Estudio de prefactibilidad tecnico economica para la instalacion de una planta procesadora de aceite usado de cocina en la ciudad de bogota Colombia. *Universidad Santo Tomas de Aquino*. Obtenido de

- <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9388/CasallasIv%C3%A1n2017.pdf?sequence=1>
- Castañeda, M. P., Lechuga, J. A., González, A. M., & Martínez, I. S. (2017). Recuperación de aceite quemado comestible para producción de barras de jabón. *Journal de Ciencia e Ingeniería*. Obtenido de [https://redib.org/Record/oai\\_articulo1633566-recuperaci%C3%B3n-de-aceite-quemado-comestible-para-producci%C3%B3n-de-barras-de-jab%C3%B3n](https://redib.org/Record/oai_articulo1633566-recuperaci%C3%B3n-de-aceite-quemado-comestible-para-producci%C3%B3n-de-barras-de-jab%C3%B3n)
- De Souza, G., Ribeiro, A., & Ventas, S. (2019). Gestión de residuos de aceite de cocina en tres establecimientos gastronómicos en lavras, minas gerais, brasil: problemas, perspectivas y soluciones. *Tecnología y gestión de residuos sólidos*, 403-409.
- Del Franco Blanco, L., & Gómez Lorduy, A. (2019). Contabilidad ambiental. Una reflexión en el marco de la gestión socialmente responsable de las empresas colombianas. *Aglala*, 10(2), 60-80 Recuperado de <http://revistas.curnvirtual.edu.co/index.php/aglala/article/view/1432>
- Echevarria Restrepo, J. (2012). El desarrollo sostenible y el reciclaje del aceite usado de cocina a la luz de la jurisprudencia y el ordenamiento jurídico colombiano. *Produccion + limpia*, 109-122.
- Fajardo Montaña, D. A. (2018). *Agricultura, campesinos y alimentos (Tesis doctorado)*. Colombia: Universidad Externado de Colombia. Obtenido de [https://bdigital.uexternado.edu.co/bitstream/001/786/1/DLA-spa-2018-Agricultura\\_campesinos\\_y\\_alimentos\\_1980\\_2010.pdf](https://bdigital.uexternado.edu.co/bitstream/001/786/1/DLA-spa-2018-Agricultura_campesinos_y_alimentos_1980_2010.pdf)
- Fedebiocombustibles. (1 de junio de 2020). *Fedebiocombustibles*. Obtenido de Fedebiocombustibles.
- Ferreira, L., Cesar, A., Conejero, M., & Guabiroba, R. (2018). Un punto de entrega voluntario en la cadena de suministro inversa para el aceite de cocina usado: un plan de acción para la participación de una escuela pública en el estado de Río de Janeiro, Brasil.
- Garcia Diaz, M., Gandon Hernandez, J., & Maqueira Tamayo, Y. (2013). Estudio de obtencion de biodiesel a partir de aceite comestible usado. *Tecnologia Quimica*, 162-169.
- Gonzales Canal, I., & Gonzales Ubierna, J. A. (s.f.). *ecoembes*:. Obtenido de ecoembes: <http://residusmunicipals.cat/uploads/activitats/docs/20170427092548.pdf>
- Gonzales, A. F., Jimenez, I. C., Rodriguez-Susa, M., Restrepo, S., & Gomez, J. M. (2008). Biocombustibles de segunda generacion y Biodiesel: Una mirada a la contribucion de la Universidad de los Andes. *revista de ingenieria de la Universidad de los Andes*, 70-82.
- Hernandez Rodriguez, M. A., & Hernandez Zarate, J. A. (2008). Verdades y mitos de los biocombustibles. *Elementos: Ciencia y Cultura*, 15-18.
- Hernández Royett, J., Franco, D., Canabal Guzmán, J., Sánchez Otero, M., & D'Andreis Zapata, A. (2017). La auditoría ambiental, una atribución de las funciones del revisor fiscal. *Aglala*, 8(1), 219-242. <https://doi.org/https://doi.org/10.22519/22157360.1033>
- IEA. (2010). *IEA*. Obtenido de IEA: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2010>
- Llanos, M. A. (2019). LinkDiseño de una estrategia para la valorización del aceite usado de cocina generados en las diferentes cafeterías de la Universidad Autónoma de Occidente con miras

- a la producción de biodiesel (Tesis de grado). *Universidad Autónoma de Occidente*.  
Obtenido de [http://biblioteca-uaohosted.exlibrisgroup.com/F/?func=find-b&request=000011776&find\\_code=SYS&adjacent=N](http://biblioteca-uaohosted.exlibrisgroup.com/F/?func=find-b&request=000011776&find_code=SYS&adjacent=N)
- Lopez Cruz, K., Rojas Vargas, J., & Boantes Sanchez, J. (2019). Management of residual vegetable cooking oil from restaurants on the Omar Dengo campus of the Universidad Nacional. 18-28.
- Lozano Moreno, J. A., & Benavides Valencia, A. N. (2018). Waste cooking oil logistics and environmental assessment for biodiesel production in Cali. *Revista Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia*, 9-15.
- MASP. (19 de 11 de 2019). *Universidad de los Andes Colombia*. Obtenido de Universidad de los Andes Colombia: <https://derecho.uniandes.edu.co/es/informe-situacion-actual-de-los-plasticos-en-colombia>
- Medina Ramirez, L. E., Chavez Vela, N. A., & Juaruengui Rincon, J. (2012). Biodiesel, un combustible renovable. *Investigacion y ciencia*, 62-70.
- Norbert, H. (2008). Biocombustibles de segunda generacion. *Revista Virtual REDESMA*, 49-62.
- Paez, L. (16 de Marzo de 2016). *red de desarrollo sostenible*. Obtenido de red de desarrollo sostenible: <https://www.rds.org.co/es/novedades/sistema-de-recoleccion-de-aceite-vegetal-usado-para-la-produccion-de-biodiesel>
- Salinas Callejas, E., & Gasca Quezada, V. (2009). Los biocombustibles. *El cotidiano*, 75-82.
- Semana Sostenible. (22 de Septiembre de 2017). *Semana Sostenible*. Obtenido de Semana Sostenible: <https://sostenibilidad.semana.com/impacto/articulo/aceite-de-cocina-usado-como-botarlo-y-reciclarlo-en-colombia/38474>
- Struffaldi, A., Silva Ruiz, M., Terezinha Kniess, C., & Portella Ribero, A. (2018). Kitchen oil recycling networks used in SAO PAULO macrometropolis. *Iberoamerican journal of strategic Management*, 277-298.
- Traxco S.A. (12 de Marzo de 2012). *Traxco: Componentes para sistemas de riesgo Pivot*. Obtenido de Traxco: Componentes para sistemas de riesgo Pivot: <https://www.traxco.es/blog/produccion-agricola/biocombustibles-de-segunda-generacion>
- Tsai, W. (2019). Reciclaje obligatorio de aceite de cocina usado de los sectores residencial y comercial en Taiwán.
- Valencia Ortiz, X. (2017). Diseño de un sistema de recolección de aceite usado de cocina para el barrio Propicia #2. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/24014>
- Zhang, H., Ozturk, A., Wang, Q., & Zhao, Z. (2014). Biodiesel produced by waste cooking oil: Review of recycling modes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114004948>