

Análisis logístico para una compañía de economía circular de envases plásticos en el Valle de Aburra ¹

Jaime Luis Mejia Montero ², Sebastián Bedoya Ramírez ³

Resumen:

La iniciativa de economía circular de envases plásticos propone una alternativa innovadora que incentiva al usuario final a convertirse en un actor principal en el reciclaje mediante distintos puntos de recolección tales como kioscos y máquinas expendedoras inversas. Están soportados en una aplicación móvil en la cual se lleva un registro de información y se acumulan una serie de puntos los cuales se pueden redimir en múltiples beneficios tales como: recargas de minutos, boletas de cine, descuentos en gimnasios y servicios públicos prepagos. En este trabajo, se realizó un diagnóstico donde se pudo identificar la oportunidad de mejora en los criterios de selección usados para la ubicación de nuevos puntos de recolección. Por lo tanto, el propósito de esta monografía fue proponer un modelo de localización que le garantice una planeación de crecimiento en el mediano y largo plazo de acuerdo a unas restricciones de operación entre presupuesto de instalación, presupuesto de operación, número máximo de puntos a ubicar y las distancias entre las ubicaciones.

El modelo fue desarrollado utilizando una regresión lineal múltiple para proyectar el número de visitas y el volumen recolectado de un nuevo punto utilizando los datos disponibles de los puntos actuales. Además, se utilizó la herramienta Open Solver para implementar computacionalmente un modelo de optimización que permitiera ubicar los nuevos puntos en los mejores lugares teniendo en cuenta los objetivos de la compañía (maximizar el número de visitas o la cantidad de envases recolectados).

¹ Monografía Especialización en Logística Integral. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia.

Asesor Temático: Juan Guillermo Villegas Ramírez. Profesor Titular Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Antioquia

Asesor Metodológico: Gloria Osorno. Profesora, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Antioquia

² Especialista en Logística Integral. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. Afiliación profesional

³ Especialista en Logística Integral. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. Afiliación profesional

Palabras Clave: Economía circular, máquina expendedora inversa, regresión lineal múltiple, modelo de localización.

1. Introducción

Indudablemente el plástico fue uno de los mejores inventos del primer cuarto del siglo XX debido a que este material revolucionó la industria de los envases y empaques en gran medida por propiedades como: versatilidad, ligereza, flexibilidad, buena inercia química, facilidad de impresión y decoración, entre otros.

No obstante, la humanidad descuidó por completo el impacto ambiental provocado por un producto que lleva más de dos siglos en circulación, al cual no se le estaba haciendo una correcta disposición, recolección y aprovechamiento para lograr que el ciclo de vida de este material se pueda extender lo máximo posible. Cada minuto se compra un millón de botellas de plástico en todo el mundo, y la cifra se disparará otro 20% para 2021, creando una crisis medioambiental que algunos activistas comparan en gravedad con el cambio climático. [1]

Específicamente, Colombia genera 13,6 millones de toneladas de residuos domiciliarios de las cuales el plástico representa el 10,75%; se trata de un sector destacable en el cual se puede mejorar la tasa de aprovechamiento de este material. Las cifras presentadas por el Departamento nacional de Planeación [2] dan cuenta de ello: en Colombia se desechan más de 1500 millones de botellas PET al año. En lo concerniente al desarrollo sostenible el 26 de julio de 2018 fue publicada la resolución número 1407 por la cual se reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases, empaques de cartón, plástico, vidrio y metal. [3] . Según dicha resolución el productor tiene la obligación de formular, implementar y mantener un Plan de Gestión Ambiental de Residuos de Envases y Empaques que fomente el aprovechamiento de los materiales anteriormente mencionados.

En consecuencia, la sostenibilidad dejó de ser una tendencia para convertirse en un asunto obligatorio que ha sido liderado principalmente por la Unión Europea que adoptó la política ambiental de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) que obliga a los productores o importadores de empaques y envases a organizar y financiar la gestión de los residuos derivados de los productos que colocan en el mercado. Por lo tanto, la necesidad y la tendencia mundial es aumentar las actividades de gestión de logística inversa. La cual incluye la disminución de la fuente

de producción, la renovación de recursos naturales, el reciclaje de materiales, la limpieza de materiales de desecho y el manejo de sustancias peligrosas. [4]

La logística inversa para la gestión de residuos es un proceso mediante el cual las empresas pueden ser más eficientes para el medio ambiente mediante el reciclaje, la reutilización y la reducción de la cantidad de materiales utilizados. Una visión más holística de la logística inversa incluye la reducción de materiales en el sistema hacia adelante de tal manera que sea menos flujo de materiales hacia atrás, sea posible la reutilización de materiales y se facilite el reciclaje. [5]

El papel del Estado en la promoción de la logística verde debe ser amplio con gran variedad de instrumentos de políticas que pueden implementar para reducir el impacto ambiental con la mejora y control en impuestos, incentivos financieros, regulación, liberalización, infraestructura y planificación, consejo y exhortación. En especial, los gobiernos desempeñan un papel en la identificación y promoción de las mejores prácticas ambientales en la logística. [5]

En el año 2015 la tasa anual de reciclaje en Colombia se estimó alrededor del 22% lo cual está muy por debajo del promedio mundial el cual está en el 41%. Es importante mencionar que los líderes en este ámbito son Japón, Brasil y Australia cuyas tasas se estiman en 78%, 56% y 42% respectivamente. [6]

Evidentemente la creación de un modelo de economía circular alrededor de la disposición, recuperación, aprovechamiento y transformación del envase plástico pos-consumo de bebidas gaseosas tiene un potencial enorme en el ámbito social mediante la participación de los recicladores vinculados en cooperativas y el usuario final. Además, se realiza un aporte ambiental debido a que se está contribuyendo al aprovechamiento de un tipo de plástico altamente contaminante si no es dispuesto correctamente. Y por último un aporte en lo económico teniendo en cuenta el potencial de crecimiento de este sector que está impactando positivamente la economía del Valle de Aburrá de las familias que viven del reciclaje y que ven en esta actividad una oportunidad de negocio que les permite tener una calidad de vida decente.

Finalmente, también favorece directamente al productor de envases que está aprovechando un material que antes era considerado basura para reutilizarlo y producir una resina PET apta para ser transformada nuevamente en una botella de bebida gaseosa.

Por otro lado, Colombia adoptó la REP mediante el CONPES 3874 de 2016 el cual está compuesto de cuatro ejes estratégicos. El primer eje busca adoptar medidas encaminadas hacia la prevención en la generación de residuos; el segundo la minimización de aquellos que van a sitios de disposición final; el tercero la promoción de la reutilización, aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos; y cuarto evitar la generación de gases de efecto invernadero. [7]

Asimismo, en el año 2018 el Ministerio del Medio Ambiente publicó la Resolución No. 1407 la cual tiene como objeto: reglamentar la gestión ambiental de residuos de envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio y metal. De conformidad con este objetivo se establece a los productores la obligación de formular, implementar y mantener actualizado un Plan de Gestión Ambiental de Residuos de Envases y Empaques, que fomente el aprovechamiento. [3]

Por lo tanto, en esta monografía se aborda la mejora y el análisis de una compañía dedicada al reciclaje de envases plásticos. La metodología utilizada en este trabajo consta de un diagnóstico de la operación de la compañía donde se pudo identificar la oportunidad de mejora en los criterios de selección usados para la ubicación de nuevos puntos de recolección. Para luego proponer un modelo que permite una planeación de crecimiento en el mediano y largo plazo utilizando para ello: (i) un modelo para proyectar el número de visitas y el volumen recolectado en los posibles nuevos puntos de operación, y (ii) un modelo que permite ubicar los nuevos puntos en los mejores lugares teniendo en cuenta los objetivos de la compañía (maximizar el número de visitas o la cantidad de envases recolectados). Dicha metodología se describe en la siguiente sección. Posteriormente, se presentan los resultados obtenidos al aplicar la metodología propuesta utilizando los datos de operación de la compañía para el año 2018. Para terminar finalmente con algunas conclusiones y recomendaciones en la sección final del documento.

2. Metodología

En primer lugar, se realizó un benchmarking en la ciudad de Medellín donde se realizaron varias entrevistas con distintas compañías que están mejorando sus procesos de separación, aprovechamiento y transformación de envases, empaques y embalajes para el cumplimiento de la meta del 10% de aprovechamiento para el año 2021 como lo exige la Resolución 1407. [3]

2.1 La compañía y su modelo de negocio

En cuanto a la operación de la compañía objeto de estudio corresponde a una alternativa para el modelo de economía circular soportada en una aplicación donde los usuarios son los actores fundamentales en el reciclaje de envases plásticos o latas los cuales depositan en un punto de la compañía y a cambio reciben una serie de puntos que pueden redimir en boletas de cine, recarga de minutos, spa, servicios públicos, vestuario, tours, entre otros. Además, ofrecen un servicio de publicidad en pantallas de los puntos para el posicionamiento de marca a través de campañas ecológicas.

A través de las pantallas, la aplicación móvil y su página web. La compañía moviliza a las personas para un reciclaje inteligente, a través de la educación, la innovación y el amor por el planeta, evitando que las botellas lleguen al relleno sanitario, apuntando así a la participación ciudadana como elemento fundamental del proceso.

Inicialmente se llevó a cabo un acercamiento con la compañía de economía circular del Valle de Aburrá, donde se realizó un diagnóstico de la logística inversa de envases plásticos mediante la identificación de puntos críticos en la operación de recolección y aprovechamiento para cierre de ciclo, en el cual se formularon estrategias innovadoras para mejorar estas operaciones. Por consiguiente, se evaluaron las alternativas para desarrollar una metodología que se pueda utilizar en el crecimiento del negocio.

A continuación, se desarrollaron entrevistas para conocer el modelo de negocio de la compañía, la metodología de planeación, tipos de formato utilizados (maquina o kiosco), criterios para la selección de lugares, proyección, crecimiento, recolección, análisis de información de la operación y de los usuarios. Después de conocer la operación real de la compañía se realizó una solicitud de

datos de su operación tales como: puntos actuales de recolección, número de visitas, volumen recolectado por punto y una estimación de costos de instalación y operación. Adicionalmente se solicitaron unos datos cualitativos sobre los puntos de operaciones tales como: tipo de acceso (indoor o outdoor), tipo de formato (kiosco o maquina), georreferenciación (latitud y longitud) y por último el estrato socioeconómico.

2.2 Modelos analíticos para la planeación del crecimiento de la compañía

Después de analizada la operación se determinaron las variables de decisión y se consideraron las restricciones para crear el modelo matemático predictivo que permite una planeación del crecimiento en el mediano y largo plazo utilizando para ello: (i) un modelo para proyectar el número de visitas y el volumen recolectado en los nuevos puntos de operación, (ii) un modelo que permite ubicar los nuevos puntos en los mejores lugares considerando los objetivos de la compañía (maximizar el número de visitas o la cantidad de envases recolectados) utilizando los datos disponibles de la operación actual de la compañía. La Figura 1 Etapas del modelo matemático con los componentes del modelo de planeación propuesto.

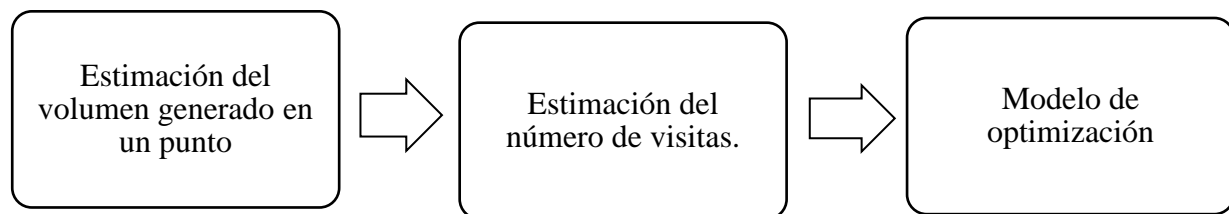


Figura 1 Etapas del modelo matemático

Para la estimación de los volúmenes generados en cada punto y el número de visitas (primeras etapas del modelo) se realizó una regresión lineal múltiple utilizando los datos disponibles de número de visitas, volumen recolectado, estratos socioeconómicos, tipos de formato y acceso para obtener la predicción de cuál sería el número de visitas y total de envases recolectados para las

nuevas ubicaciones. La regresión lineal ajustada para predecir el número de kilos recolectados en un punto de operación particular está dada por la ecuación (1). Dicha variable depende del tipo de acceso y el estrato socioeconómico, características que fueron modeladas usando variables dummy.

$$\begin{aligned} \text{volumen} = & 478.6 - 169.9 \beta_{\text{indoor}} - 123.5 \beta_{\text{estrato3}} + 1086.5 \beta_{\text{estrato4}} - 152.68 \beta_{\text{estrato5}} \\ & - 304.35 \beta_{\text{estrato6}} \end{aligned} \quad (1)$$

Por su parte, la regresión lineal ajustada para predecir el número de visitas está dada por la ecuación (2).

$$\begin{aligned} \text{visitas} = & 488.89 - 434.75 \beta_{\text{indoor}} - 82.11 \beta_{\text{estrato3}} + 1645.1 \beta_{\text{estrato4}} - 121.19 \beta_{\text{estrato5}} + \\ & 124.58 \beta_{\text{estrato6}} \end{aligned} \quad (2)$$

Los resultados obtenidos con la regresión para calcular el número de visitas y el volumen recolectado se ilustran en la Tabla 1 para algunos de los puntos posibles de operación que la compañía está interesada en abrir en un futuro próximo. Nótese en las ecuaciones de la regresión que, aunque en un determinado estrato se pueden llevar a cabo más visitas dichas visitas a los puntos de la compañía no necesariamente implican un mayor volumen de material recolectado (por ejemplo, el estrato 6).

Puntos de operación	Ruta N	Plaza mayor	CC puerta del norte	Coltejer (kiosco adicional)
Volumen (Kg)	1565.3	1395	479	1565
Número de visitas	2133	1698	488	2133
Acceso (0=Indoor)	0	1	1	1
Estrato 3	0	0	0	0
Estrato 4	1	1	0	1
Estrato 5	0	0	0	0
Estrato 6	0	0	0	0

Tabla 1 Predicción de volumen y visitas.

Posteriormente se desarrolló, el modelo de optimización que decidiera en cuales de los sitios candidatos se deben ubicar los puntos de recolección considerando: número máximo de puntos a ubicar, distancia mínima de separación entre los puntos y presupuesto determinado de operación e instalación. Los elementos de dicho modelo se describen en Tabla 2. Dicho modelo está basado en un problema de p-dispersión. [8]

En la Tabla 2, se definieron los elementos:

Elementos	Definición
S:	Conjunto de sitios posibles para ubicar puntos de recolección.
V_s	Volumen recolectado mensual estimado de cada sitio $s \in S$
T_s	Tráfico mensual estimado de cada sitio $s \in S$.
CI_s	Costo de instalar o poner un punto de recolección en el sitio s .
co_s	Costo de operar un punto de recolección en el sitio $s \in S$
PresI	Presupuesto de instalación total del escenario de operación.
PresO	Presupuesto de operación total del escenario de operación.
K	Número de puntos a ubicar en el escenario de operación.
d_{s,s'}	Distancia entre los sitios $s, s' \in S$
d_{min}	Distancia mínima entre puntos de recolección a ubicar en el escenario de operación
p_s	Variable de decisión binaria, 1 si ubicamos un punto de recolección en el sitio candidato $s \in S, 0$: si no se hace.
M	Número grande (distancia máxima entre puntos)

Tabla 2 Notación del modelo de localización.

El modelo matemático puede tener una de las dos funciones objetivos siguientes, volumen de material recolectado o tráfico (medido en número de visitas).

$$\max \text{Tráfico} = \sum_{s \in S} T_s p_s \quad (3)$$

$$\max \text{Volumen} = \sum_{s \in S} V_s p_s \quad (4)$$

Sujeto a:

$$\sum_{s \in S} p_s \leq K \quad (5)$$

$$\sum_{s \in S} CI_s p_s \leq PresI \quad (6)$$

$$\sum_{s \in S} CO_s p_s \leq PresO \quad (7)$$

$$d_{min} + (M - d_{s,s'})p_s + (M - d_{s,s'})p_{s'} \leq 2M - d_{s,s'} \quad \forall s, s' \in S \quad (8)$$

$$p_s \in \{0,1\} \quad \forall s \in S \quad (9)$$

La ecuación (3) representa el tráfico total del escenario, mientras que la ecuación (4) representa el volumen de material recolectado. Ambas se pueden usar como función objetivo. Por su parte la ecuación (5) indica que la sumatoria de los puntos ubicados deben ser menor o igual al número de puntos a ubicar en el escenario de operación, La ecuación (6) expresa el límite de la sumatoria total del costo de instalar los puntos de recolección y la ecuación (7) el presupuesto total de operación mensual. La ecuación (8) indica que se debe respetar la distancia d_{min} entre puntos de recolección a ubicar. Por su parte, la ecuación (9) define las variables de decisión como binarias. Este modelo se implementó utilizando la herramienta OpenSolver [9]

3. Resultados

Después de analizar la operación de la compañía se crearon dos modelos de localización, un modelo con una restricción de los puntos actuales los cuales son fijos permitiendo ubicar los otros sitios candidatos óptimos para los nuevos puntos de recolección, de acuerdo al objetivo de la compañía (número de visitas o volumen recolectado). Por otro lado, un segundo modelo que muestra un escenario óptimo para ubicar nuevos puntos de recolección sin estar limitados por los puntos actuales de la compañía.

3.1.1 Escenario actual (Escenario base)

Actualmente la compañía cuenta con 12 puntos de recolección ubicados principalmente en la zona norte del Valle de Aburrá, los cuales tienen una capacidad de recolección de 4.693 kilogramos/mes, 8.792 usuarios, con un costo de instalación de \$8 300 000 y un costo de operación de \$ 16 968 000. La Figura 2 muestra el escenario de operación actual que sirvió como línea base para comparar los distintos escenarios que fueron encontrados con los modelos de localización.

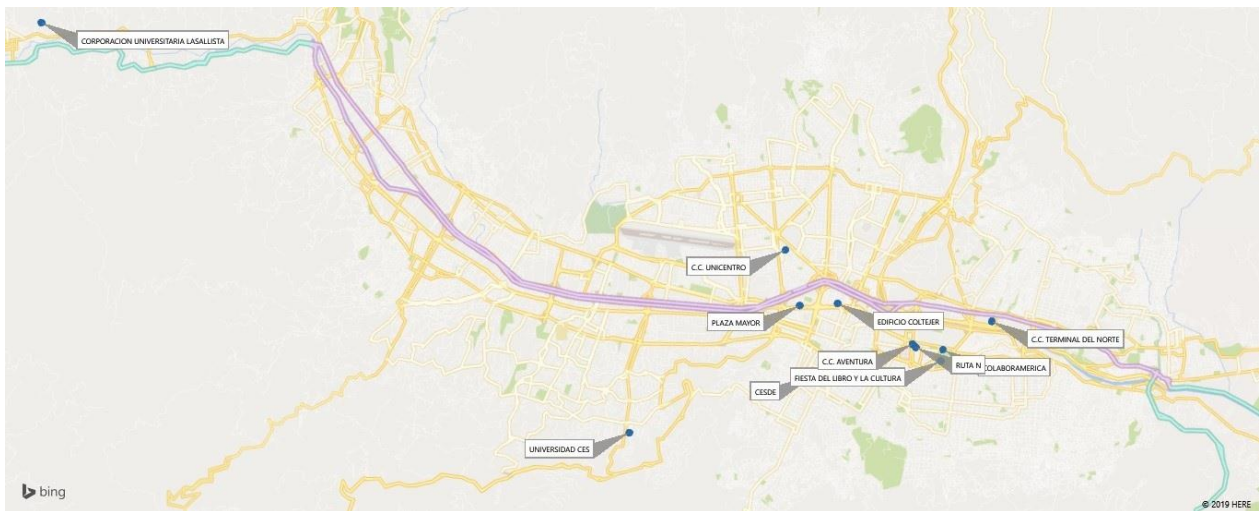


Figura 2 Escenario actual (Escenario base)

3.1.2 Escenario 1: 8 puntos de recolección más y ubicación restringida de los puntos actuales

Inicialmente se analizó el Escenario 1 donde se busca ubicar 20 puntos sin restricción alguna en su ubicación: De los puntos ubicados 5 fueron en la zona sur del Valle de Aburrá y los 15 restantes en la zona centro oriental y occidental a una distancia mínima de cero kilómetros con una capacidad de recolección de 15 106 kilogramos/mes, 29 437 usuarios, con un costo de instalación de \$ 12 681 532 y un costo de operación de \$ 34 470 000. Por lo tanto, se refleja un crecimiento en el escenario base del 222% en el rubro de volumen (kg) y 235% para el ítem de número de usuarios con un incremento de 8 puntos de recolección (66%).

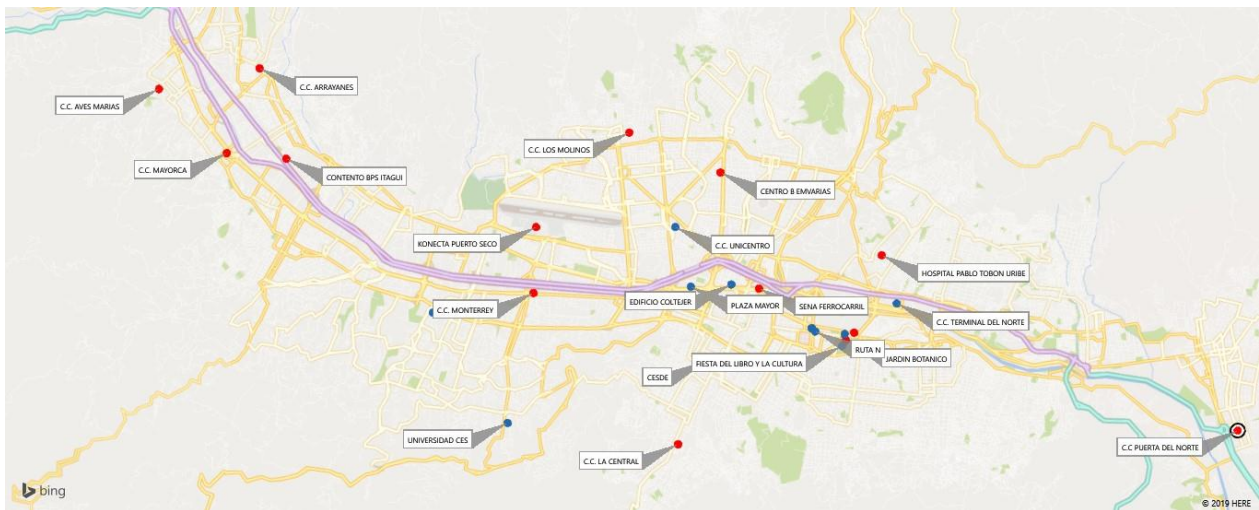


Figura 3 Comparación del escenario base con el Escenario 1 (con 8 puntos de recolección más).

3.1.3 Escenario 2: 20 puntos de recolección con ubicación libre

Después de analizar un segundo escenario se lograron ubicar 20 puntos de recolección: de los cuales 10 se encuentran en la zona sur del valle de aburra, 8 en la zona centro y 2 en la zona norte. A diferencia del escenario actual de la compañía se puede evidenciar una mayor dispersión de los puntos en toda el área metropolitana. Adicionalmente, es importante mencionar que la distancia mínima de separación fue 2 kilómetros con un volumen recolectado de 12 617 kilogramos, 24 076 visitas, costo de instalación de \$12 461 532 y costo de operación de \$ 33 270 000. Al comparar el

base con el escenario 2 se calculó un crecimiento de 169% en el volumen recolectado y de 174% en el número de usuarios.

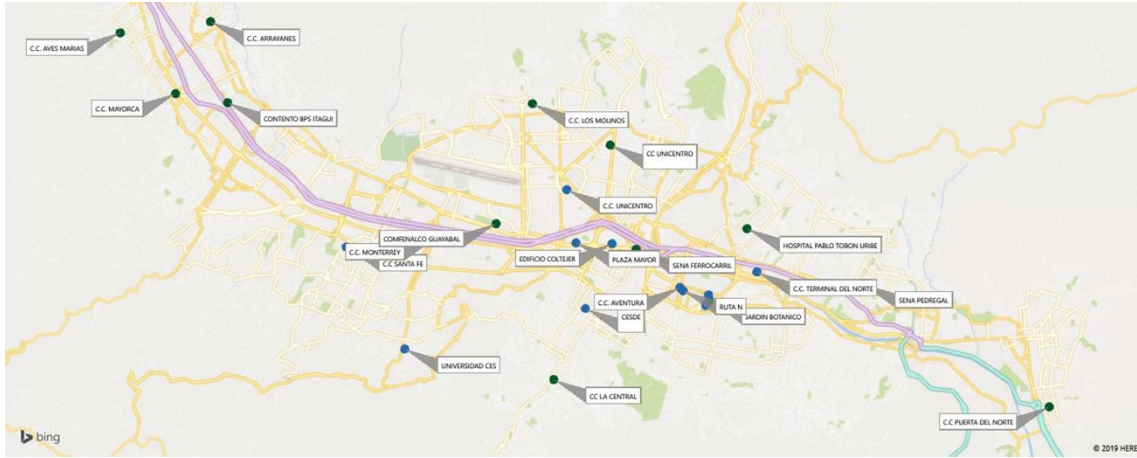


Figura 4 Comparación del escenario base con el Escenario 2 (con 20 puntos de recolección en ubicación libre).

3.1.4 Escenario 3: 30 puntos de recolección con ubicación libre

En este escenario se lograron ubicar un total de 30 puntos a una distancia mínima de 0 kilómetros donde se pudo observar que 12 puntos fueron ubicados en el sur, 14 en zona centro y los 3 restantes en zona norte. Por otro lado, se logró una recolección de 16 770 kilogramos, 32 491 usuarios, costo de instalación de \$ 20 307 684 y costo de operación \$ 48 320 000. En contraste se nota una dispersión muy bien distribuida a lo largo y ancho del área metropolitana. Asimismo, se valoró un crecimiento en el escenario 3 de 257% en el volumen recolectado y del 270% en el número de usuarios.

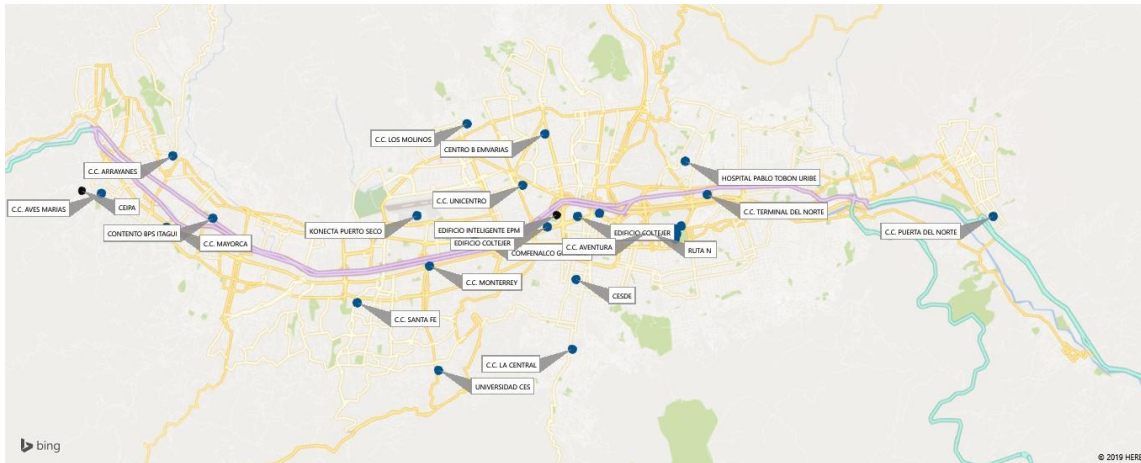


Figura 5 Comparación del escenario base con el Escenario 3 (con 30 puntos de recolección en ubicación libre).

3.1.5 Escenario 4: Puntos de recolección con $d_{\min} = 10\text{km}$ de separación entre puntos

En este escenario el modelo mostró solo 5 puntos ubicados debido a una restricción de distancia mínima de 10 kilómetros donde el modelo solo ubicó dos puntos en el sur, dos en el centro y uno en el norte. Además, con una capacidad de recolección de 3924 kilogramos, 7116 usuarios, costo de instalación de \$ 3 824 614 y costo de operación de \$ 7 562 000. En conclusión, se puede evidenciar un decrecimiento en el escenario 4 de 16% en el campo de volumen recolectado y decrecimiento de 19% en el número de usuarios.

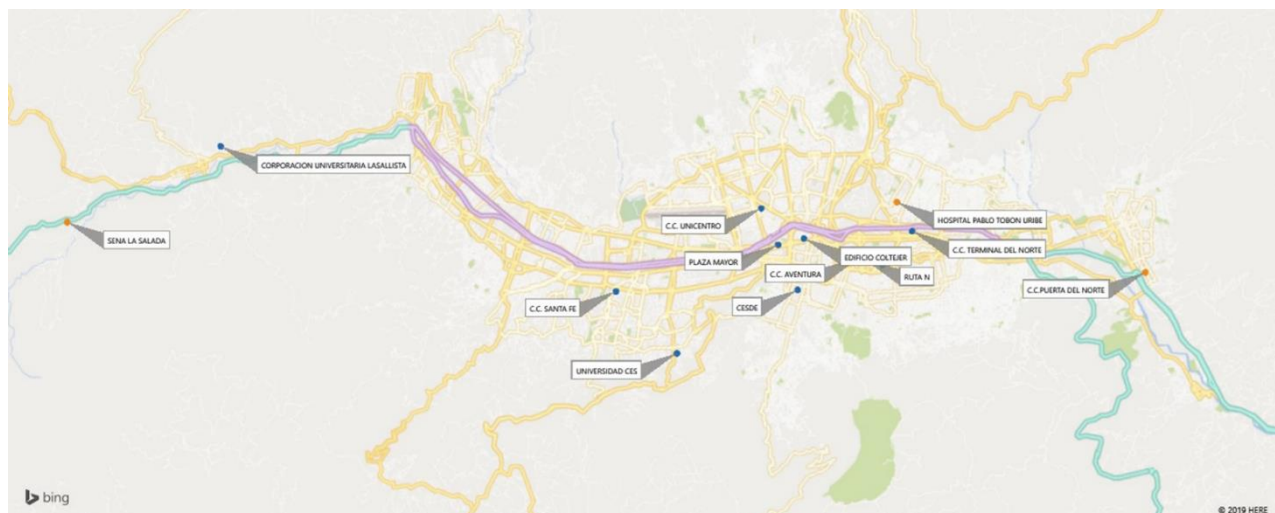


Figura 6 Simulación Escenario 4 y actual.

3.1.6 Proyección de crecimiento

Finalmente se realizaron 13 escenarios de crecimiento progresivo en el cual el número de sitios a ubicar (k) paso de ser 13 a 25, por lo tanto, todos los campos de puntos ubicados, volumen, número de visitas, costo de instalación y operación presentaron un crecimiento acorde. Estos escenarios se dan con el objetivo de mostrar la capacidad de recolección y el número de usuarios que podrá tener la compañía de acuerdo con un crecimiento sostenido del presupuesto de instalación y operación. Además, se muestra el crecimiento en el número de visitas, volumen recolectado, costo de instalación y de operación conforme crece el número de puntos de recolección (k).

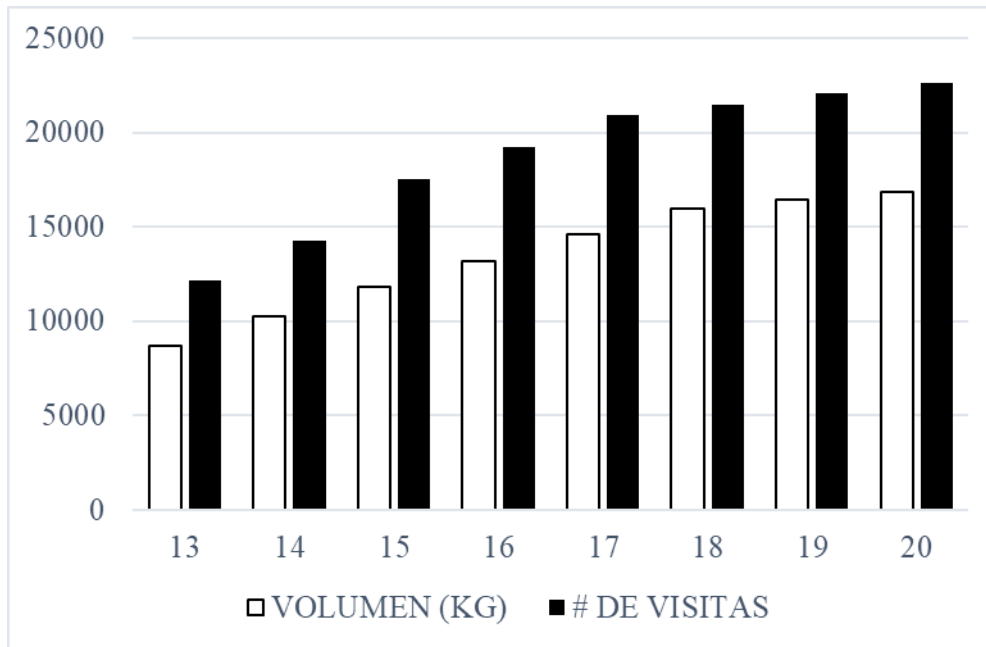


Figura 7 Proyección del número de visitas y el volumen con el crecimiento en puntos de recolección.

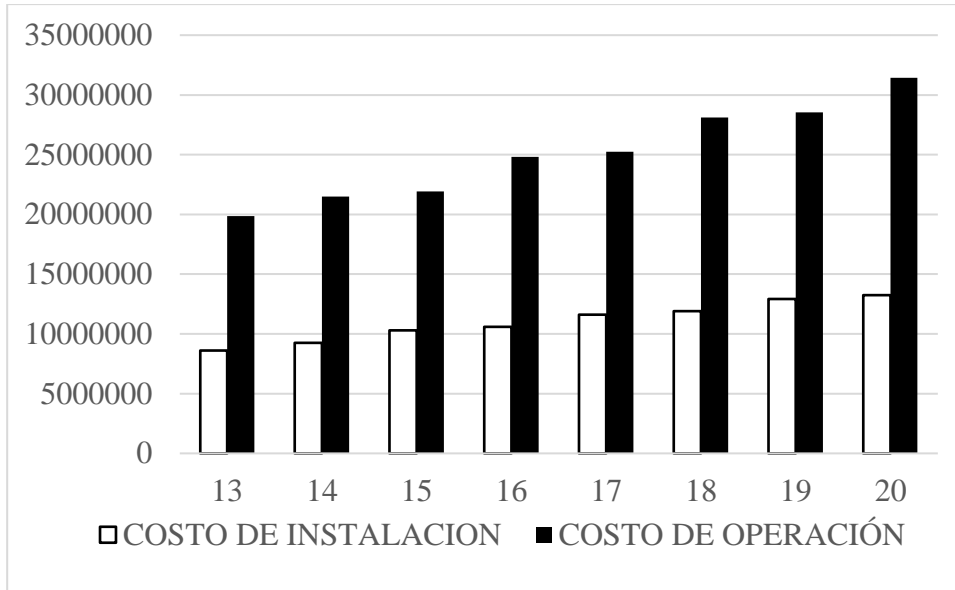


Figura 8 Proyección del costo de instalación y costo de operación con el crecimiento en puntos de recolección.

4. Conclusiones

Se dio cumplimiento al objetivo planteado en el proyecto mediante un análisis logístico de una compañía de economía circular de envases plásticos en el Valle de Aburrá. A través de varias sesiones de trabajo se pudo identificar una de las oportunidades de mejora que corresponde a la selección de los criterios y método para la ubicación de nuevos puntos de recolección. En consecuencia, se creó un modelo de localización donde se pudo determinar dónde ubicar un nuevo punto de recolección de acuerdo con unas restricciones de número de puntos a ubicar, distancia mínima entre puntos, presupuesto de instalación y de operación. Para alimentar dicho modelo es necesario crear primero una estimación de la cantidad de usuario y material que se puede recoger en un punto nuevo. Para ello se implementó un modelo de regresión lineal múltiple. Utilizando dicha información se creó un modelo de localización de p-dispersión que permitió analizar un conjunto de escenarios futuros de crecimiento bajo distintas condiciones. Asimismo, con esta monografía se propuso una herramienta que permitiera analizar el crecimiento en el mediano y largo plazo de acuerdo con un crecimiento sostenido del presupuesto de instalación y operación, considerando la ubicación opima para maximizar el volumen de envases recolectados o el número de usuarios que visitan un punto de recolección. Dicha herramienta permite analizar distintos escenarios de crecimiento para la compañía de economía circular de envases plásticos en el Valle de Aburra estudiada.

Por otro lado, este trabajo es limitado y considerando la operación de la compañía sería importante estudiar la influencia que tiene la distancia en la interacción de los usuarios con los puntos de recolección. Este es un trabajo futuro que sería interesante abordar e incorporar en los modelos.

5. Agradecimientos

Agradezco la oportunidad, primero a Dios, segundo mi familia, mi esposa e hijos quienes me apoyaron e hicieron parte del proceso de aprendizaje y crecimiento personal. (Sebastián Bedoya Ramírez)

Agradecemos a los señores David Valencia Montoya, Tomas Villamil Parodi y Leonardo Estrada Maldonado quienes nos brindaron su disponibilidad de tiempo para poder conocer más a fondo sobre esta nueva alternativa de economía circular la cual busca aumentar la tasa de aprovechamiento de envases plásticos en el Valle de Aburra. (Jaime Luis Mejia Montero y Sebastián Bedoya Ramírez)

6. Referencias:

- [1] S. Laville y M. Taylor , «El mundo compra un millón de botellas de plástico por minuto que acaban en vertederos o en el mar,» *El Diario*, 30 junio 2017.
- [2] Departamento Nacional de Planeación, Política para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (2016-2030), Bogotá, 2015.
- [3] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, «Resolución 1407,» República de Colombia, Bogotá, 26 julio 2018.
- [4] S. M. G. Hsiao-Fan Wang, Green Supply Chain Management: Product Life Cycle Approach, New York, Chicago, San Francisco, Lisbon, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, San Juan, Seoul, Singapore, Sydney, Toronto: McGraw-Hill Education, LLC, 2011.
- [5] A. Mckinnon, M. Browne, A. Whiteing y M. L. Piecyk, Green logistic: Improving the environmental sustainability of logistics, London, Philadelphia, new Delhi: Kogan page, 2010.
- [6] D. S. Zarta, «Solo 26% de las botellas plásticas se recicla,» *La Republica*, p. 2016, 03 Marzo 2016.
- [7] «Documento Conpes 3874,» de *Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos*, Bogotá, 2016, p. 73.
- [8] J. Current, M. Daskin y D. Schilling, Discrete network location models. Facility location: Applications and theory, 2002.
- [9] A. J. Mason, OpenSolver-an open source add-in to solve linear and integer progammes in Excel. In Operations Research proceedings, Springer, Berlin, Heidelberg, 2012.