

Propuesta de ubicación de red de contenedores de RSU mediante el modelo P- mediana

Proposal for the location of a network of MSW containers using the P-median model

Perla-Yetlanezi Cruz-Martínez¹, Fabiola Sánchez-Galván¹, Horacio Bautista-Santos¹⁻²,
Anaisa Munzón-Velázquez¹⁻³

¹ Tecnológico Nacional de México – ITS Tantoyuca, Veracruz, México.

² Tecnológico Nacional de México – ITS Chicontepec, Veracruz, México.

³ Tecnológico Nacional de México – ITS Naranjos, Veracruz, México.

Recibido: 29-10-2021

Aceptado: 06-12-2021

Autor correspondiente: Perla_MarC@hotmail.com

RESUMEN

La recolección de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) es un reto constante para la humanidad en todos los sectores, ya que depende directamente de la cultura de consumo del hombre y este comportamiento registra constantes cambios. El modelo p-mediana tiene como objetivo minimizar las distancias de viaje entre estaciones que satisfacen ciertas demandas. En este caso en particular, la aplicación del modelo sugiere la colocación estratégica de una red de contenedores que garanticen la mayor cantidad de residuos recolectados diariamente al interior de un corporativo que consta de 20 áreas, en la ciudad de Altamira, en el estado de Tamaulipas.

Este proyecto realiza una evaluación y análisis de una estructura de control de residuos generados con la finalidad de gestionar adecuadamente el incremento que la empresa ha registrado en el último año.

Palabras Clave: Problema P-Mediana, Residuos Sólidos Urbanos (RSU), Optimización, Ubicación/instalaciones, Red.

ABSTRACT

The collection of MSW is a constant challenge for humanity in all sectors, since directly depends on the consumer of population and this behavior registers constant changes. The objective of the p-median model is to minimize travel distance between stations that meet certain demands. In this particular case, the application of the model suggests the strategic placement of a network of containers that guarantee the greatest amount of waste collected daily inside a corporation consisting of a twenty area, in the city of Altamira, in the state of Tamaulipas.

The Project performs an evaluation and analyzes of a structure of a control of static generated in order to adequately manage the growth that the company has registered in the last year.

Keywords: P-median problem, Municipal Solid Waste (MSW), optimization, location, network.

INTRODUCCIÓN

Los residuos se definen formalmente como los materiales o productos que se desechan ya sea en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, que se contienen en recipientes o depósitos y que necesitan estar sujetos a tratamiento o disposición final (LGPGIR; DOF, 2003). A su vez, los residuos se clasifican de acuerdo a sus características y orígenes en tres grupos: Residuos Sólidos Urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP). Los RSU son aquéllos que se producen en las casas habitación como consecuencia de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas o los que provienen también de cualquier otra actividad que se realiza en establecimientos o en la vía pública con características domiciliarias (DOF, 2003).

En 2012 se calculó una producción mundial de 1 300 millones de toneladas diarias de RSU y se estima que podría crecer hasta los 2 200 millones en el año 2025. El desarrollo económico y tamaño de la población urbana son factores que impactan y muestran una disparidad en el volumen de RSU generado por cada región (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012).

En México se generan diariamente 102,895.00 toneladas de residuos, de los cuales se recolectan 83.93% y se disponen en sitios de disposición final 78.54%, reciclando únicamente el 9.63% de los residuos generados (SEMARNAT, 2017). El aumento en la generación de residuos sólidos urbanos puede explicarse como resultado de múltiples factores, reconociéndose entre los más importantes el crecimiento urbano, el desarrollo industrial, las modificaciones tecnológicas y el cambio en los patrones de consumo de la población. (UN-HABITAT, 2010).

Una adecuada gestión integral de los RSU consiste en prevenir la generación de los mismos, sin embargo, ante la presencia inevitable de los residuos, la recolección resulta muy relevante, debido a que anticipa que los generadores propicien su dispersión sin control en el ambiente. (SEMARNAT, 2020). La recolección, desde el punto de vista ambiental y de salud pública puede conseguir una apropiada disposición final, además de que aumenta la

posibilidad de recuperación de los residuos. En contraste, aquellos que no se recolectan pueden permanecer en los sitios de generación o diseminarse, ocasionando efectos negativos, tales como: obstruir desagües y cursos de agua, contaminar los cuerpos de agua y los suelos, deteriorar el paisaje o convertirse en fuente de enfermedades potenciales a la población (UN-HABITAT, 2010).

En la literatura se presenta gran número de modelos matemáticos que se utilizan para resolver problemas con datos determinísticos; El modelo de p-mediana es un problema de programación matemática que apoya la ubicación de las instalaciones minimizando la suma de distancias totales ponderadas o los costos de transporte entre los vértices con demanda y las instalaciones seleccionadas (Melo et al., 2009). La optimización de los sistemas de recolección de residuos sólidos urbanos es una estrategia para reducir costos e impactos ambientales, considerando factores como la distancia o el consumo de combustible (Benítez-Bravo et al., 2021).

En 1960, Hakimi desarrolló problemas similares para encontrar medianas en una red o un grafo. Denominó 'mediana absoluta' al punto del grafo que minimiza la suma de las distancias ponderadas entre ese punto y los vértices del grafo, y probó que una mediana absoluta óptima siempre se localiza en un vértice del grafo, proporcionando así una representación discreta de un problema continuo. Desde su trabajo, el problema de la p-mediana ha ido de la mano de la teoría de localización, convirtiéndose en uno de los modelos de localización de instalaciones más comunes (Laporte et al., 2015).

Los modelos de ubicación han contribuido en la sugerencia de sitios para la ubicación de las instalaciones, de modo que se garantizan una prestación de servicios eficiente. Una formulación común de varios modelos de ubicación está asociada con el problema de la p-mediana, que tiene como objetivo minimizar la distancia de viaje entre las instalaciones de apoyo y la demanda en una región. (Noorian et al., 2018).

La ciencia matemática de la ubicación de instalaciones ha contribuido significativamente durante casi cuatro décadas en optimización discreta y continua.

Los investigadores se han centrado tanto en algoritmos como en formulaciones en diversos entornos del sector privado (como plantas industriales, bancos, establecimientos minoristas, etc.) y el sector público (ambulancias, clínicas, etc.). Cada formulación tiene

diferencias y similitudes con respecto a las demás, pero las peculiaridades de cada problema significan el principio de cientos de investigaciones (ReVelle et al., 2008).

El problema p-mediana es un problema clásico de ubicación de instalaciones discretas en el que las instalaciones capacitadas (medianas) se seleccionan desde un punto de vista económico para atender un conjunto de vértices de demanda de manera que la demanda total asignada a cada una de las instalaciones (medianas) no supere su capacidad (Yang et al., 2021).

El presente trabajo tiene como objetivo optimizar el proceso de recolección de RSU dentro de un corporativo empresarial, que cuenta con 20 áreas de oficinas de administrativas, 73 colaboradores y 180 clientes.

El presente documento se encuentra dividido en cuatro secciones, la primera muestra un panorama general acerca de la definición y clasificación de los RSU, sus características, generación a nivel nacional e internacional, así como la relevancia del uso de los modelos matemáticos en la ubicación de las instalaciones. En la segunda sección se muestran los datos de la generación de RSU del corporativo y el estado actual, representados gráfica y numéricamente, así como la formulación matemática a utilizar.

En la tercera sección se describen tres escenarios que proponen diferentes decisiones, con la finalidad de incrementar las posibilidades del resultado coincida con los escenarios planteados.

La cuarta sección describe el escenario más viable para la asignación de contenedores dentro del corporativo y puntualiza recomendaciones a la empresa para la implementación y éxito del sistema de recolección

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 CASO DE ESTUDIO

Este artículo presenta el caso de estudio de un corporativo empresariales multiservicios ubicado en la ciudad de Altamira en el estado de Tamaulipas, el cual ofrece servicios ambientales e industriales a oficinas, residencias y plantas industriales. El corporativo cuenta con 73 colaboradores y 180 clientes.

La empresa ha representado un aumento de RSU, es por ello que hay una estricta demanda en la implementación de un modelo matemático que optimice el proceso de recolección de residuos dentro del corporativo, ya que dicha compañía cuenta con una estructura extensa de 20 áreas, (figura 2) y cada área genera un porcentaje de residuos, por tal motivo la gerencia se ha cuestionado si el actual sistema logístico es adecuado para cumplir las expectativas de las áreas potenciales ya que para que una empresa sea competitiva debe contar con un sistema ambiental logístico oportuno y eficiente, por lo que esta compañía se ve en la necesidad de hacer una evaluación de la estructura ambiental del control de los residuos generados en su interior.

En el desarrollo de este trabajo, se realiza una evaluación y análisis de dicha estructura con el propósito de generar una propuesta de asignación que mejore las condiciones actuales, mediante el modelo de la p-mediana y finalmente hacer uso del software Lingo para encontrar una solución por medio esta herramienta de optimización.

En la Tabla 1 se muestra la cantidad en kilogramos de residuos sólidos urbanos generados por día en cada área, el número de usuarios y un número asignado a cada área.

En la Tabla 2 se presenta la matriz de distancias de la que existe entre las 20 áreas, la cual se elaboró para introducirlo como información en el programa Lingo.

Figura 2. Layout del corporativo Guasal S.A De C.V.

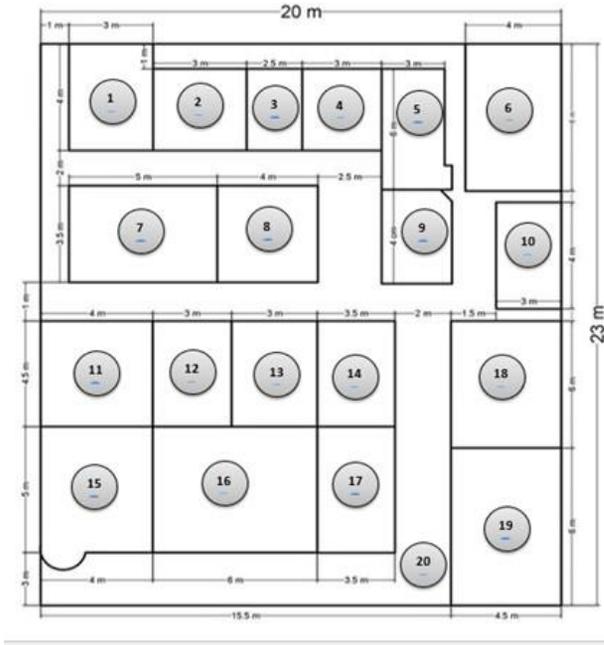


Tabla 1: Generación de residuos sólidos urbanos por área.

Número Asignado	Área	Personas	RSU generado/día (Kg)	RSU generado/semana (Kg)
1	Recepción	2	3	15
2	R. Humanos	4	2.5	12.5
3	Proyectos	4	1	5
4	M. Ambiente	4	1	5
5	Calidad	4	3	15
6	Comedor/Cocina	4	6	30
7	Lobby	1	1	5
8	Sala de Juntas	1	0.5	2.5
9	Seguridad	4	1	5
1	Baños	1	3.5	17.5
1	Contabilidad	6	2	10
1	Ventas	8	3	15
1	Compras	4	1	5
1	Facturación	4	4	20
1	Gerencia	2	0.5	2.5
1	Producción	6	6	30
1	Serv. Especiales	4	1	5
1	Almacén	4	4	20
1	Bodega	4	3	15
2	Estacionamiento	2	1	5
Total		73	48	240

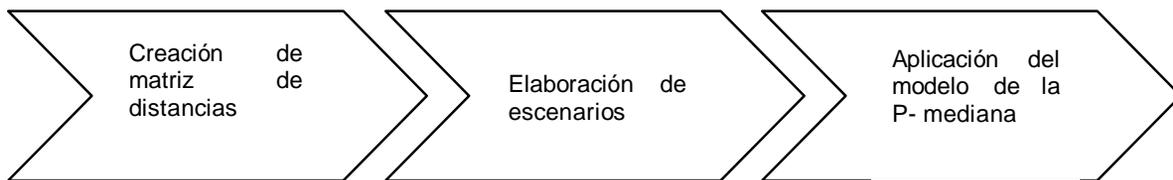
Tabla 2: Matriz de distancias entre áreas.

MATRIZ DE DISTANCIA																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	3	5	8.5	11.5	15	2	6	10.5	18.5	6.5	12.5	12.5	14.5	29.5	24.5	21	17	21	24
2	3	0	3	5.5	8.5	12	2	3	7.5	15.5	9.5	8.5	9.5	11.5	26.5	21.5	18	14	18	21
3	5	3	0	2.5	5.5	9	4	2	4.5	12.5	12	10	7	9.5	23.5	18.5	15	12.5	15.5	18
4	8.5	5.5	2.5	0	3	6.5	7.5	2	2	10	10	7.5	6.5	6.5	20.5	15.5	12.5	9.5	12.5	15
5	11.5	8.5	5.5	3	0	3.5	6.5	2.5	2	8	12	8.5	7	4.5	18.5	13.5	10.5	7.5	10.5	13
6	15	12	9	6.5	3.5	0	10	6	1	0.5	17.5	15	12.5	9	22.5	17.5	14.5	5	11.5	14.5
7	2	2	4	7.5	6.5	10	0	5	6.5	11	1	1.5	3.5	6	26.5	21.5	12.5	9.5	15.5	18.5
8	6	3	2	2	2.5	6	5	0	2.5	7	5.5	3.5	1	1.5	24	19	10.5	7.5	13.5	15.5
9	10.5	7.5	4.5	2	2	1	6.5	2.5	0	1.5	8.5	6.5	4.5	1	19	14	7.5	1	7	10
10	18.5	15.5	12.5	10	8	0.5	11	7	1.5	0	13.5	11	8.5	5	22.5	17.5	11	0.5	8	11
11	6.5	9.5	12	10	12	17.5	1	5.5	8.5	13.5	0	2.5	4.5	6.5	23	18	13	11.5	17.5	14.5
12	12.5	8.5	10	7.5	8.5	15	1.5	3.5	6.5	11	2.5	0	2.5	5	23.5	18.5	12	9	15	18
13	12.5	9.5	7	6.5	7	12.5	3.5	1	4.5	8.5	4.5	2.5	0	2.5	21.5	16.5	10	6.5	12.5	15.5
14	14.5	11.5	9.5	6.5	4.5	9	6	1.5	1	5	6.5	5	2.5	0	13.5	8.5	4.5	3	4.5	7.5
15	29.5	26.5	23.5	20.5	18.5	22.5	26.5	24	19	22.5	23	23.5	21.5	13.5	0	4	5	12.5	11.5	3
16	24.5	21.5	18.5	15.5	3.5	17.5	21.5	19	14	17.5	18	18.5	16.5	8.5	4	0	3.5	11.5	6.5	3
17	21	18	15	12.5	10.5	14.5	12.5	10.5	7.5	11	13	12	10	4.5	5	3.5	0	3	3	3
18	17	14	12.5	9.5	7.5	5	9.5	7.5	1	0.5	11.5	9	6.5	3	12.5	11.5	3	0	1.5	6
19	21	18	15.5	12.5	10.5	11.5	15.5	13.5	7	8	17.5	15	12.5	4.5	11.5	6.5	3	1.5	0	3
20	24	21	18	15	13	14.5	18.5	15.5	10	11	14.5	18	15.5	7.5	3	3	3	6	3	0

2.2 Metodología

La metodología del presente proyecto se llevó a cabo bajo los siguientes puntos como se muestra en la figura:

Figura 1. Metodología para la aplicación de la p- mediana.



A continuación, en la siguiente sección se describe detalladamente cada uno de los pasos:

- **Creación de matriz de distancias**

El primer paso para la aplicación del modelo de la p-mediana se llevó a cabo mediante la técnica de recopilación de información necesaria, comenzando principalmente por el planteamiento del problema, la creación de matriz de distancias, posteriormente

justificando la elección y las necesidades de aplicar el modelo dentro del corporativo de la empresa Guasal S.A. de C.V.

- **Elaboración de escenarios**

Para plantear el modelo fue necesario elaborar un conjunto finito de escenarios. Un escenario se definió como una realización posible de los datos donde se eligió el criterio de discretización de los intervalos en base a las preferencias y opiniones sobre lo que puede ocurrir en el futuro. Es evidente que, cuanto mayor sea el número de escenarios, mayor será también la posibilidad de que el resultado que finalmente se produzca aparezca coincida con uno de los escenarios planteados. Para ello se plantearon 3 escenarios en los cuales se proponen diferentes decisiones

- **Aplicación del modelo de la p-mediana**

Una vez planteados los escenarios, se eligió el modelo matemático adecuado al diseño de la p mediana y su correspondiente implementación en código LINGO para buscar la solución óptima. El problema específico que se trató consiste en la ubicación de contenedores en un corporativo empresarial. En el diseño de la red se debe decidir la localización de contenedores y la determinación de las cantidades de residuos generados a enviar por las diferentes áreas de distribución.

2.3 Modelo matemático

- **Formulación Matemática**

La formulación clásica del problema de la P-mediana atribuida a Hakimi (1964) es la siguiente:

Sea:

$N=\{1,\dots,n\}$ el conjunto de índices para las áreas del corporativo.

$J=\{1,\dots,m\}$ el conjunto de índices para las localizaciones potenciales de las medianas (contenedores de residuos).

Para cada (i, j) , $i \in N$, $j \in J$ sea C_{ij} el costo de asignación del cliente i a la mediana ubicada en la localización j .

Se definen las siguientes variables de decisión:

- Y_j . Tomará el valor de 1 si se ubica la mediana en la localización $j \in J$ y de 0 en otro caso
- X_{ij} . Tomará el valor de 1 si el área $i \in N$ se asigna mediana ubicada en la localización $j \in J$ y de 0 en otro caso.

El problema de la P-mediana se formula de la siguiente manera.

$$\text{Min } \sum_{i \in N} \sum_{j \in J} C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j \in J} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} Y_j = P \quad (3)$$

$$X_{ij} \leq Y_j \quad \forall i \in N, j \in J \quad (4)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, Y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (5)$$

La función objetivo (1) representa la mínima distancia para satisfacer la demanda de todos los nodos de la red (áreas del corporativo). Las restricciones (2) aseguran que cada área es asignada a una única mediana (contenedor de residuos). La restricción (3) garantiza que se seleccionen exactamente P localizaciones para las medianas (contenedores). Las restricciones (4) aseguran que las áreas se asignen a una mediana sólo si ésta ha sido seleccionada. Finalmente, el conjunto de restricciones (5) especifica que todas las variables de decisión son binarias. Esta formulación representa un total de n^2 variables y $2n + 1$ restricciones.

3. Resultados.

Mediante la aplicación del modelo de la P- mediana y el uso del software Lingo se obtienen los siguientes resultados de los tres escenarios propuestos:

Escenario 1

En el primer escenario se asignaron 3 contenedores (medianas) a un corporativo con 20 áreas (demandas). De acuerdo a la matriz de distancias (Cuadro 2) y la implementación del modelo matemático en Lingo se localizaron los contenedores en el pasillo de las áreas 7, 9 y 10. Donde los usuarios de las áreas 1,2,3,7,11,12 y 13 depositaran sus residuos generados en el contenedor ubicado en el área 7. Los usuarios de las áreas 4,5,6,8,9,10,14 y 18 depositaran sus residuos en el contenedor ubicado en el pasillo del área 9 y finalmente el ultimo contenedor del pasillo del área 16 será utilizado por los usuarios de las áreas 15, 16,17,19 y20.

Logrando así asignar me manera estratégica y equilibrada las medianas y obteniendo un total de 81.500kg de residuos recolectados al día.

La figura 3 se muestra la red de nodos del escenario 1 las cuales representan las áreas con su mediana correspondiente. La figura 4 muestra la distribución de contenedores ubicadas en base a los resultados obtenidos de Lingo. En la Tabla 3 muestra de una manera descrita la asignación de contenedores en las áreas 7,9 y 16.

Figura 3. Red de nodos del escenario 1.

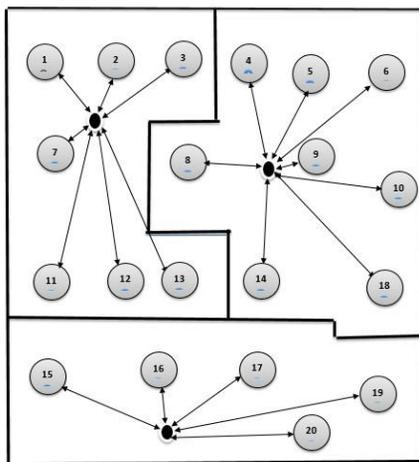


Figura 4. Distribución de contenedores en el escenario 1.

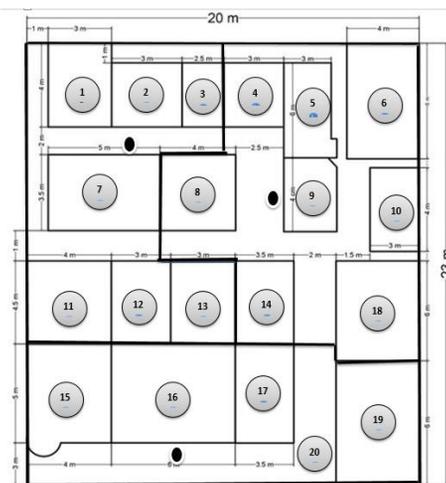


Tabla 3. Asignación de contenedores en las áreas 7,9 y 16.

Área		7	10	16
Recepción	1	1	0	0
R. Humanos	2	1	0	0
Proyectos	3	1	0	0
M. Ambiente	4	1	0	0
Calidad	5	1	0	0
Comedor/Cocina	6	0	1	0
Lobby	7	1	0	0
Sala de Juntas	8	1	0	0
Seguridad	9	0	1	0

Baños	10	0	1	0
Contabilidad	11	1	0	0
Ventas	12	1	0	0
Compras	13	1	0	0
Facturación	14	0	1	0
Gerencia	15	0	0	1
Producción	16	0	0	1
Serv. Especiales	17	0	0	1
Almacén	18	0	1	0
Bodega	19	0	0	1
Estacionamiento	20	0	0	1

Escenario 2

El segundo escenario se diseñó de manera intuitiva para lograr así, tomar finalmente una decisión sobre los resultados obtenidos, en esta propuesta se eligieron 3 medianas (contenedores) para localizarlas en el corporativo y de forma cualitativa se asignaron las medianas a las áreas 7, 9 y 17 resultando una distribución similar a la descrita en el escenario 1, teniendo por diferencia la cantidad recolectada de residuos de 89 kilogramos al día.

La figura 5 se muestra la red de nodos del escenario 2, las cuales representan las áreas con su mediana correspondiente. La figura 6 muestra la distribución de contenedores ubicadas en base a los resultados obtenidos de Lingo. En la Tabla 4 se muestra de una manera descrita la asignación de contenedores en las áreas 7,9 y 17.

Figura 5. Red de nodos en el escenario 2

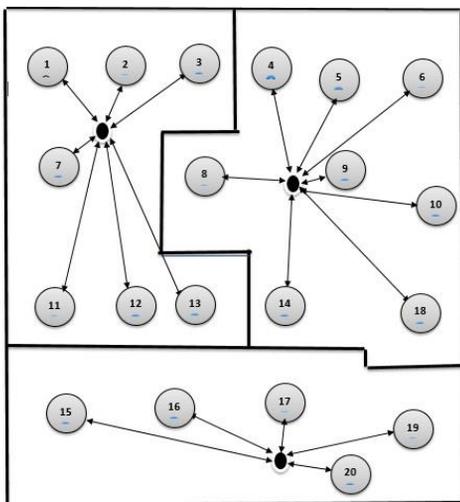


Figura 6. Distribución de contenedores en el escenario 2

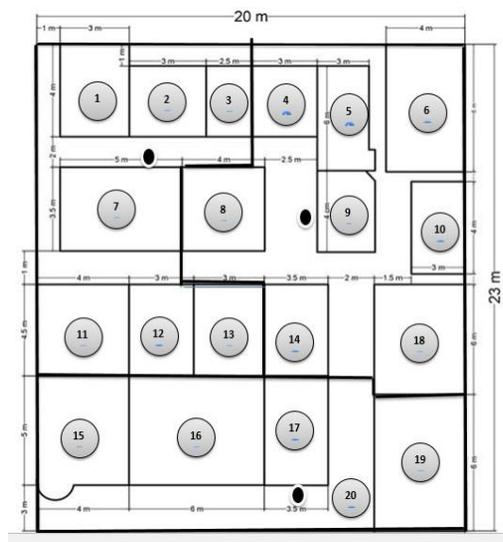


Tabla 4. Asignación de contenedores en las áreas 7,9 y 17

Área		7	9	17
Recepción	1	1	0	0
R. Humanos	2	1	0	0
Proyectos	3	1	0	0
M. Ambiente	4	0	1	0
Calidad	5	0	1	0
Comedor/Cocina	6	0	1	0
Lobby	7	1	0	0
Sala de Juntas	8	0	1	0
Seguridad	9	0	1	0
Baños	10	0	1	0
Contabilidad	11	1	0	0
Ventas	12	1	0	0

Compras	13	1	0	0
Facturación	14	0	1	0
Gerencia	15	0	0	1
Producción	16	0	0	1
Serv. Especiales	17	0	0	1
Almacén	18	0	1	0
Bodega	19	0	0	1
Estacionamiento	20	0	0	1

Escenario 3

Para el escenario número 3 de igual manera se asignaron las medianas a 3 áreas, para este caso se tomó en cuenta el área 7, 10 y 16. Obteniendo una distribución desequilibrada debido a las distancias extensas. El contenedor colocado en el área 7 debe ser utilizado por los usuarios de las áreas 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 13. Posteriormente para el contenedor ubicado en el 9 solo será utilizado por usuarios de las áreas 6, 9 y 10. Finalmente el tercer contenedor ubicado en el 16 será para los usuarios de las áreas 15, 16, 17, 19 y 20. Recolectando un total de 109 Kg.

La figura 7 se muestra la red de nodos del escenario 3, las cuales representan las áreas con su mediana correspondiente. La figura 8 muestra la distribución de contenedores ubicadas en base a los resultados obtenidos en Lingo. En la Tabla 5 se muestra de una manera descrita la asignación de contenedores en las áreas 7, 10 y 16.

Figura 7. Red de nodos en el escenario 3

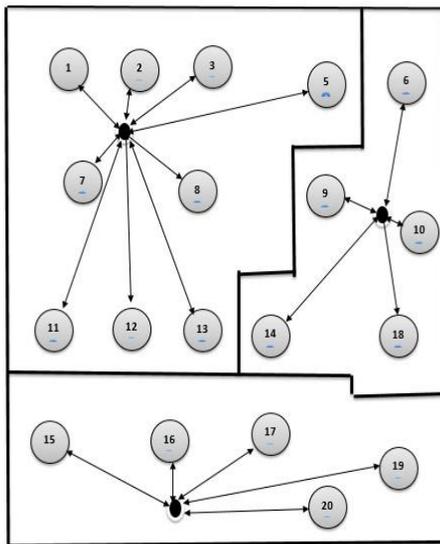


Figura 8. Distribución de contenedores en el escenario 3

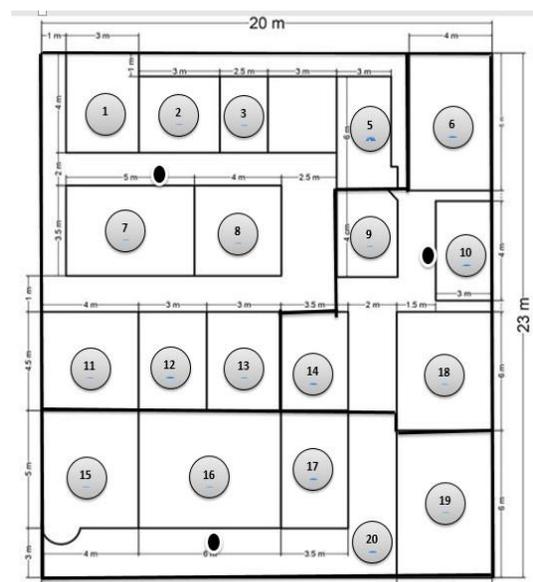


Tabla 5. Asignación de contenedores en las áreas 7,10 y 16.

Área		7	10	16
Recepción	1	1	0	0
R. Humanos	2	1	0	0
Proyectos	3	1	0	0
M. Ambiente	4	1	0	0
Calidad	5	1	0	0
Comedor/Cocina	6	0	1	0
Lobby	7	1	0	0
Sala de Juntas	8	1	0	0
Seguridad	9	0	1	0
Baños	10	0	1	0
Contabilidad	11	1	0	0
Ventas	12	1	0	0
Compras	13	1	0	0
Facturación	14	0	1	0
Gerencia	15	0	0	1
Producción	16	0	0	1
Serv. Especiales	17	0	0	1
Almacén	18	0	1	0
Bodega	19	0	0	1
Estacionamiento	20	0	0	1

Debido a que la empresa tiene 20 áreas es necesario instalar de 3 a 5 contenedores distribuidos de manera equitativa en el corporativo para cubrir la demanda de los residuos generados por área. Cabe destacar que se realizó el modelo con 5 contenedores, pero este resultado recolectar menos residuos al día que la implementación de 3 contenedores. Con la aplicación del modelo de la p-mediana se propone instalarlo en tres secciones de manera que las distancias que recorran los usuarios sean iguales.

En el escenario uno la distribución es equilibrada ya que al primer contenedor se le asignan 7 áreas, al segundo contenedor se le asignan 8 áreas y al tercer contenedor solo se le asignan 5 áreas, Obteniendo una recolección de 81.500 kg. En el segundo escenario propuesto se asignan los contenedores (medianas) al azar de manera intuitiva obteniendo el mismo resultado al escenario 1 sin embargo, esta segunda propuesta logra recolectar 89 kg de residuos al día. En el tercer escenario se distribuyó de una manera desequilibrada ya que se asignaron 10 áreas al primer contenedor, 5 al segundo y 5 al tercero. En cuanto a la recolección de residuos se recolecta una cantidad de 109 kg al día, comparado a los dos escenarios es mayor la recolección, pero no cubre con las necesidades exigidas por la empresa, ya que se desea una distribución equitativa.

4. Conclusiones

Mediante el uso del modelo de la p - mediana se logra asignar contenedores (medianas) para residuos sólidos urbanos, en un corporativo empresarial de multiservicios industriales y ambientales, disminuyendo la distancia recorrida entre los usuarios de cada área.

De acuerdo a los 3 escenarios propuestos se eligió el escenario numero 2 como mejor estrategia para la optimización del proceso de recolección en el corporativo. Ya que su distribución engloba de manera general equitativa a las áreas con los tres contenedores asignados obteniendo una recolección considerable al día de 89 kilogramos de residuos sólidos urbanos. En anexos se muestra la imagen de la matriz de 20 por 3 ya que son 20 áreas correspondientes y 3 contenedores a distribuir.

Se recomienda a la empresa trabajar en el diseño de la instalación de los contenedores por semana, adoptando los resultados del diseño de la p - mediana con un análisis financiero ya que al llevar a cabo una correcta distribución de residuos sólidos se podría llegar a establecerse convenios con compañías que se encargan de recolectar residuos reciclables y así lograr establecer beneficios sustentables y económicos.

Se concluye con la propuesta de comprar 3 contenedores, cada uno con capacidad de 50 kilogramos. Para lograr finalmente recolectar los residuos correspondientes del día y cubrir la demanda de cada área.

REFERENCIAS

1. Benítez Bravo R., Gómez González R., Rivas García P., Botello Álvarez J. (2021). *Optimization of municipal solid waste collection routes in a latin-american context. Journal of the air and waste management association.*
2. Daskin M., Maass K. (2015) *The p -median problem.*
3. Diagnostico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. Primera Edición mayo 2020 Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
4. García. Ramos, M (2012) Hacia una gestión Integral de los R.S.U..DYNA, 72(2) 30-35
5. Hakimi S.L. (1964), Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph, Operations Research, Volume 12, 450-459.
6. Hoornweg, D. y P. Bhada-Tata. *Waste generation. In: What a Waste. A Global Review of Solid Waste Management. Urban Development Series. World Bank. Washington, D.C. 2012. Disponible en <http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/3363871334852610766/Chap3.pdf>*

7. SEMARNAT. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 2017. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-rsu>
8. Laporte, G., Nickel S., Saldanha F. Da Gama. Location Science, Springer, 2015.
9. Melo, M. T., Nickel, S., & Saldanha-da-Gama, *Facility location and supply chain management – A review. European Journal of Operational Research* F. (2009)., 196(2), 401–412. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.05.007>
10. Noorian S., Psyllidis A., Bozzon A. (2018). *A time-varying p-median model for location-allocation analysis*. Delft University of Technology.
11. ReVelle, C. S., & Eiselt, H. a. (2005). *Location analysis: A synthesis and survey. European Journal of Operational Research*, 165(1), 1–19. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.11.032>
12. SEMARNAT. Informe de la situación del medio ambiente en México 2015.
13. Yang Kan, Wang Rui, He Huihui, Yang Xu, Zhang Guo (2021) *Multi-supply multi-capacitated p-median location optimization via a hybrid bi-level intelligent algorithm*.
14. Yingpeng Hu, Kaixi Zang, Jin Yang, Yanghui Wu (2018) *Mathematical Problems in Engineering. Application of hierarchical facility location-routing problem with optimization of an underground logistic system: a case study in China*.

