



# **LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES DE TRANSFERENCIA DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES CON RECUPERACIÓN DE MATERIALES**

**III Conferencia Internacional de Gestión de Residuos Sólidos**

**Katherine Varón , Juan P. Orejuela, Pablo C. Manyoma**

**Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad del Valle  
Cali, Colombia**



# CONTENIDO

---

- ❖ Introducción y antecedentes
- ❖ Diseño de la propuesta
- ❖ Implementación
- ❖ Resultados y análisis
- ❖ Conclusiones






# INTRODUCCIÓN

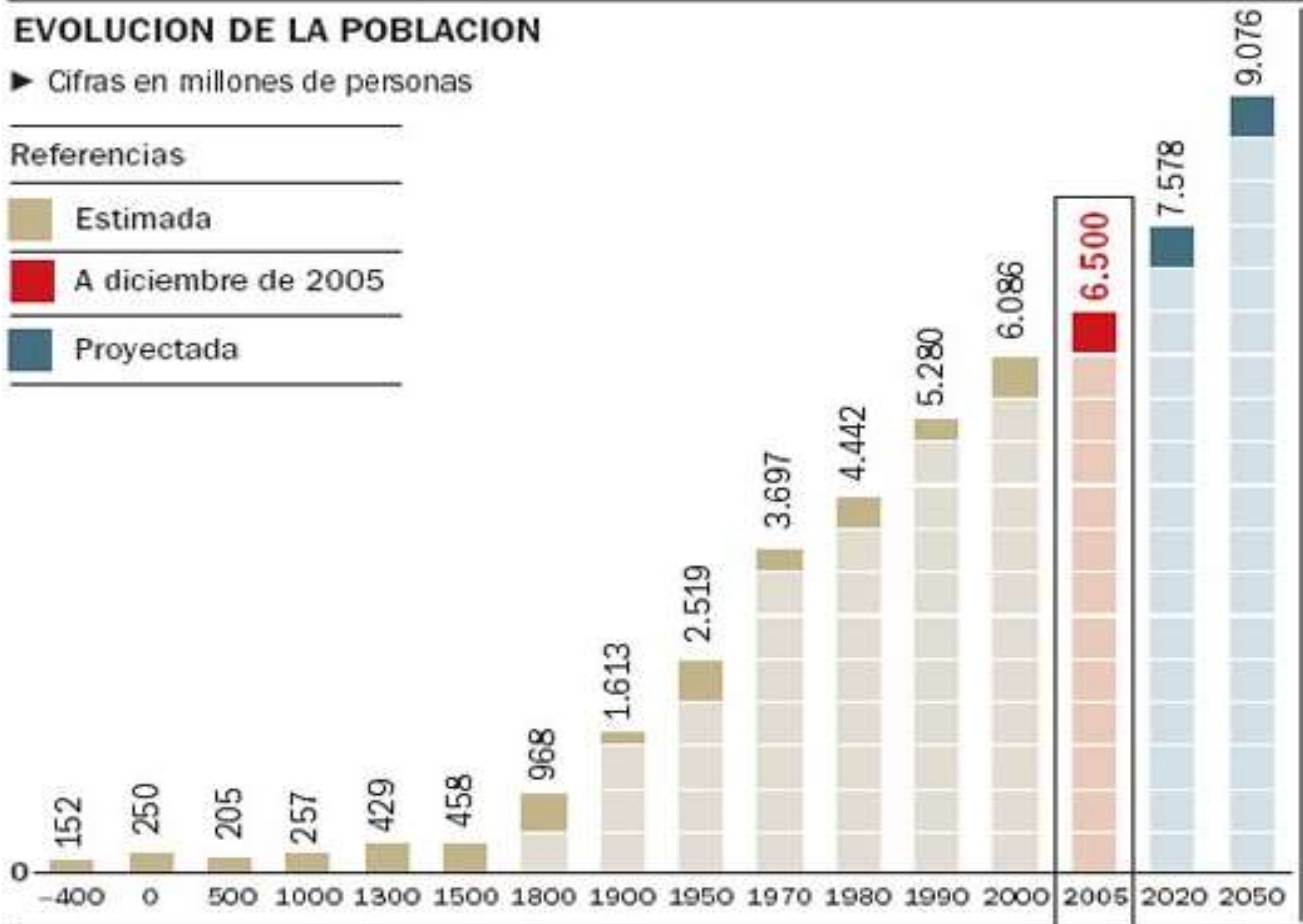
## El estado de la población mundial

### EVOLUCION DE LA POBLACION

► Cifras en millones de personas

#### Referencias

-  Estimada
-  A diciembre de 2005
-  Proyectada



# ANTECEDENTES

---

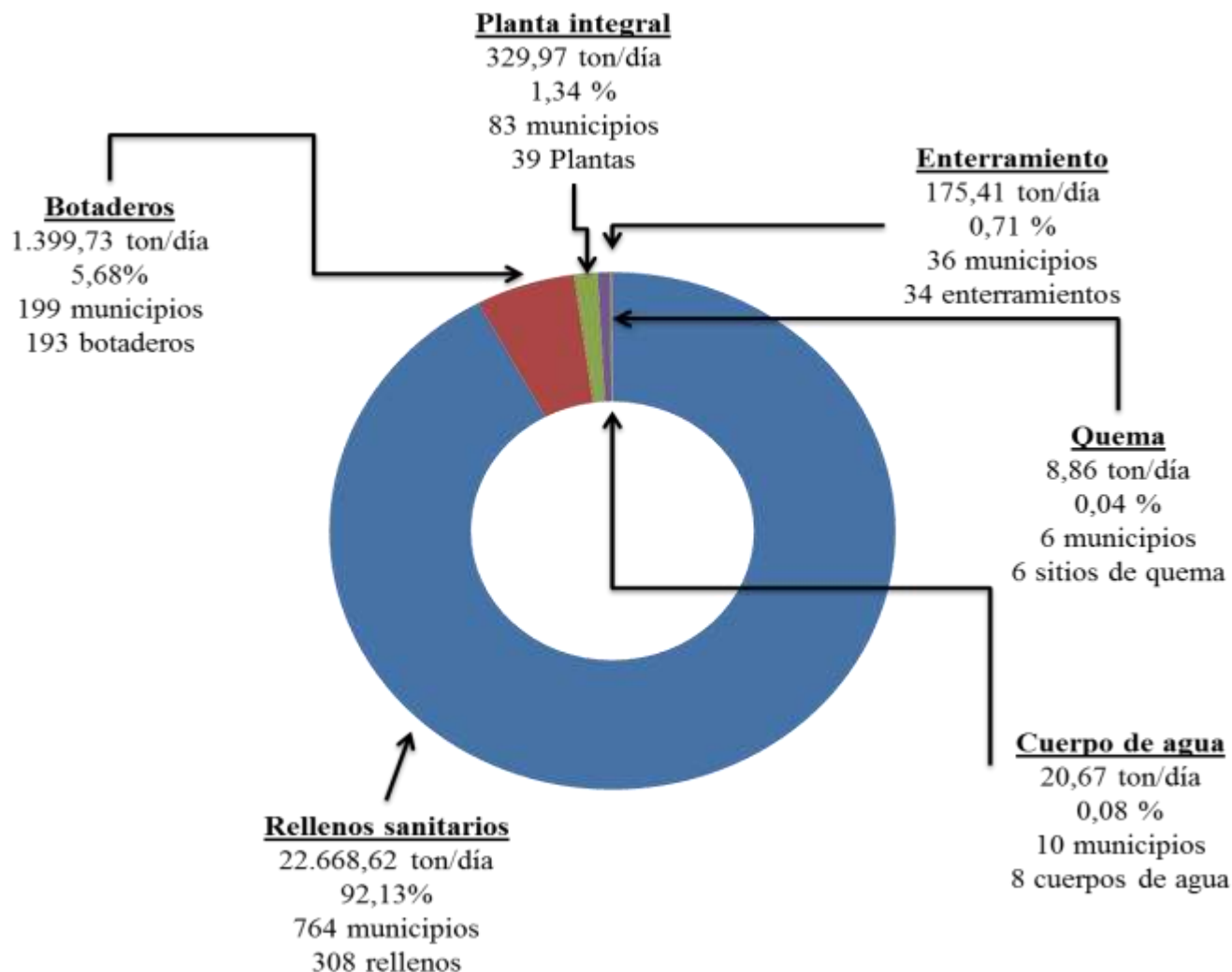
De 1.950 al 2.000, la población del mundo se **duplicó**,

la producción agrícola se **triplicó**,

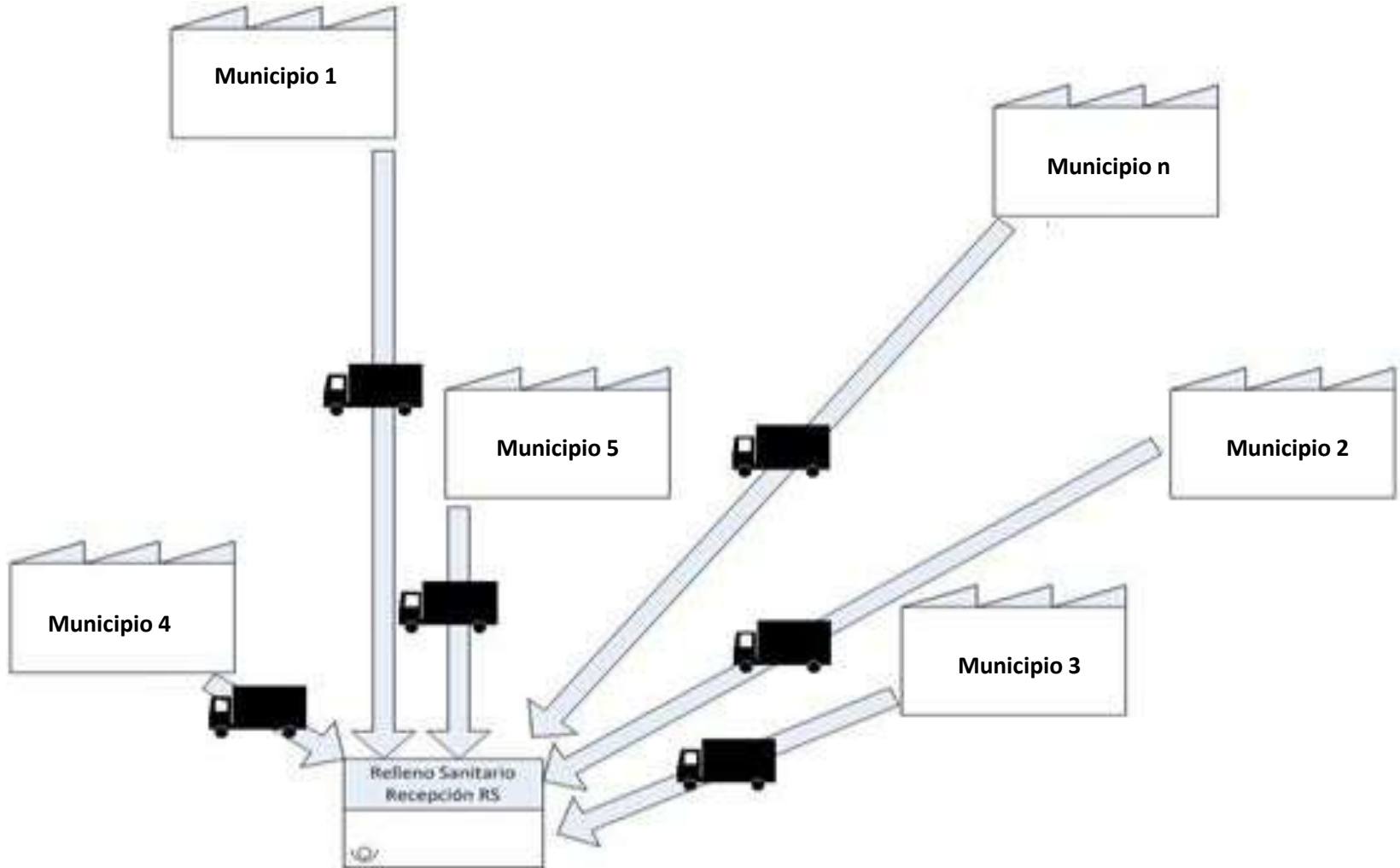
el consumo de energía y la producción se **cuadruplicaron**,

pero la generación de basura se **quintuplicó**.

# ANTECEDENTES

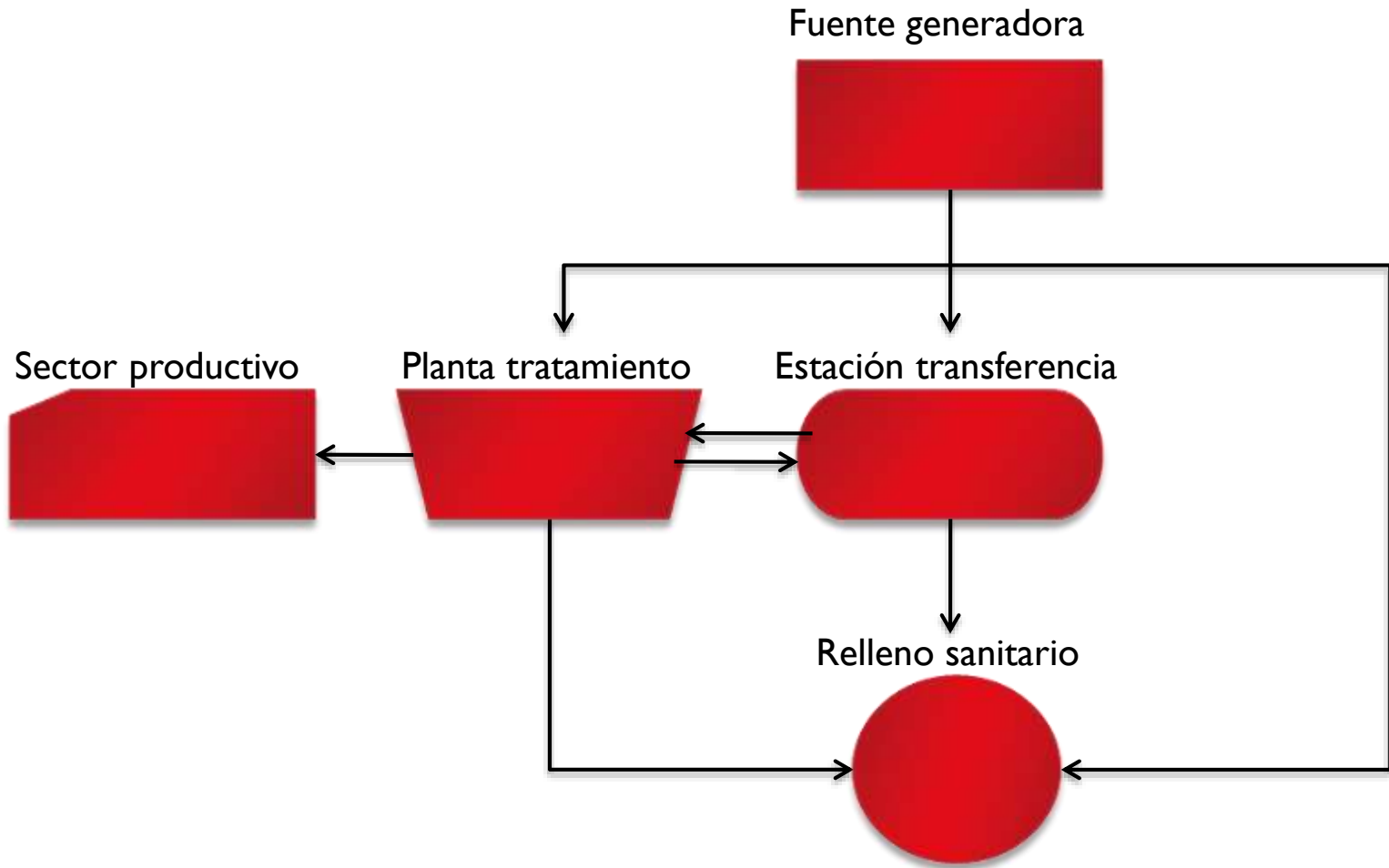


# ANTECEDENTES



▶ Esquema de Operación hasta 2002

# ANTECEDENTES



# ANTECEDENTES

---

¿Dónde se deben localizar las estaciones de transferencia de residuos sólidos municipales de manera que se minimice el costo logístico futuro de las empresas encargadas de su manejo?





# DISEÑO DE LA PROPUESTA

---

## Supuestos

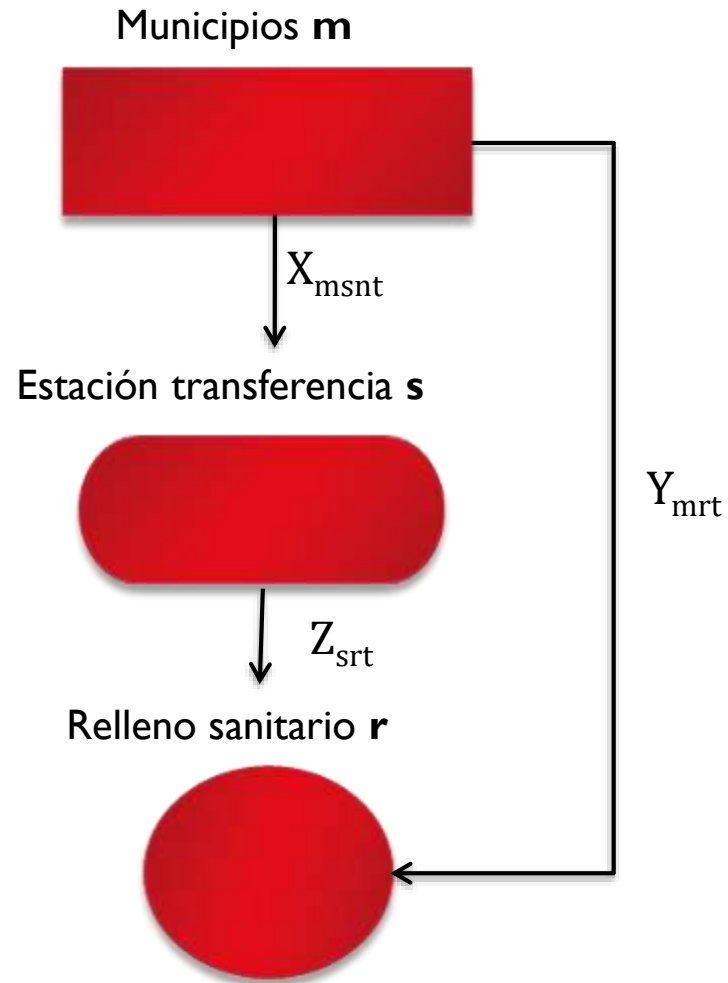
- ❖ La ubicación de los municipios productores de residuos sólidos, al igual que las tasas de generación por período de tiempo son **conocidas con certeza**.
  - ❖ El **flujo de residuos** a lo largo del sistema se considerará de manera **consolidada**, es decir, no se discriminará su composición.
  - ❖ Se cuenta con un conjunto de posibles **localizaciones factibles** para las estaciones de transferencia de residuos.
  - ❖ Se trabajará con **estaciones de transferencia multipropósito**, aquellas que incluyen actividades de recuperación de residuos.
  - ❖ Los residuos pueden **enviarse directamente al relleno sanitario** sin necesidad de pasar por la estación de transferencia.
- 



# DISEÑO DE LA PROPUESTA

---

## Variables de decisión



# DISEÑO DE LA PROPUESTA

## Función objetivo

$$\sum_s \sum_n \sum_t f a_{snt} A_{snt} (1+i)^{a-t} \quad \text{Apertura}$$

$$\sum_s \sum_n \sum_t f f_{snt} D_{snt} (1+i)^{a-t} + \sum_m \sum_s \sum_n \sum_t X_{msnt} CO_{snt} (1+i)^{a-t} \quad \text{Operación}$$

$$\sum_m \sum_s \sum_n \sum_t X_{msnt} d1_{ms} a1_t (1+i)^{a-t} \quad \text{Transporte a1}$$

$$\sum_m \sum_r \sum_t Y_{mrt} d2_{mr} a2_t (1+i)^{a-t} \quad \text{Transporte a2}$$

$$\sum_s \sum_r \sum_t Z_{srt} d3_{sr} a3_t (1+i)^{a-t} \quad \text{Transporte a3}$$



# DISEÑO DE LA PROPUESTA

## Restricciones

---

$$pn_{mt} = \sum_s \sum_n X_{msnt} + \sum_r Y_{mrt}$$

Recolección de  
residuos

---

$$\sum_m \sum_n X_{msnt} = \sum_r Z_{srt} + \sum_m \sum_n X_{msnt} tr_n$$


Balance

---

$$\sum_n tr_n \sum_m \sum_s X_{msnt} \geq \sum_m pn_{mt} mr_t$$

Recuperación de  
residuos

---



# IMPLEMENTACIÓN

Con el fin de evaluar el comportamiento del modelo propuesto, se realizó un caso de estudio en una región del Valle del Cauca. La evaluación se llevó a cabo utilizando lenguaje de programación AMPL bajo el solver Gurobi.

El modelo presentó 2560 variables, 320 binarias y 2240 lineales y 884 restricciones.

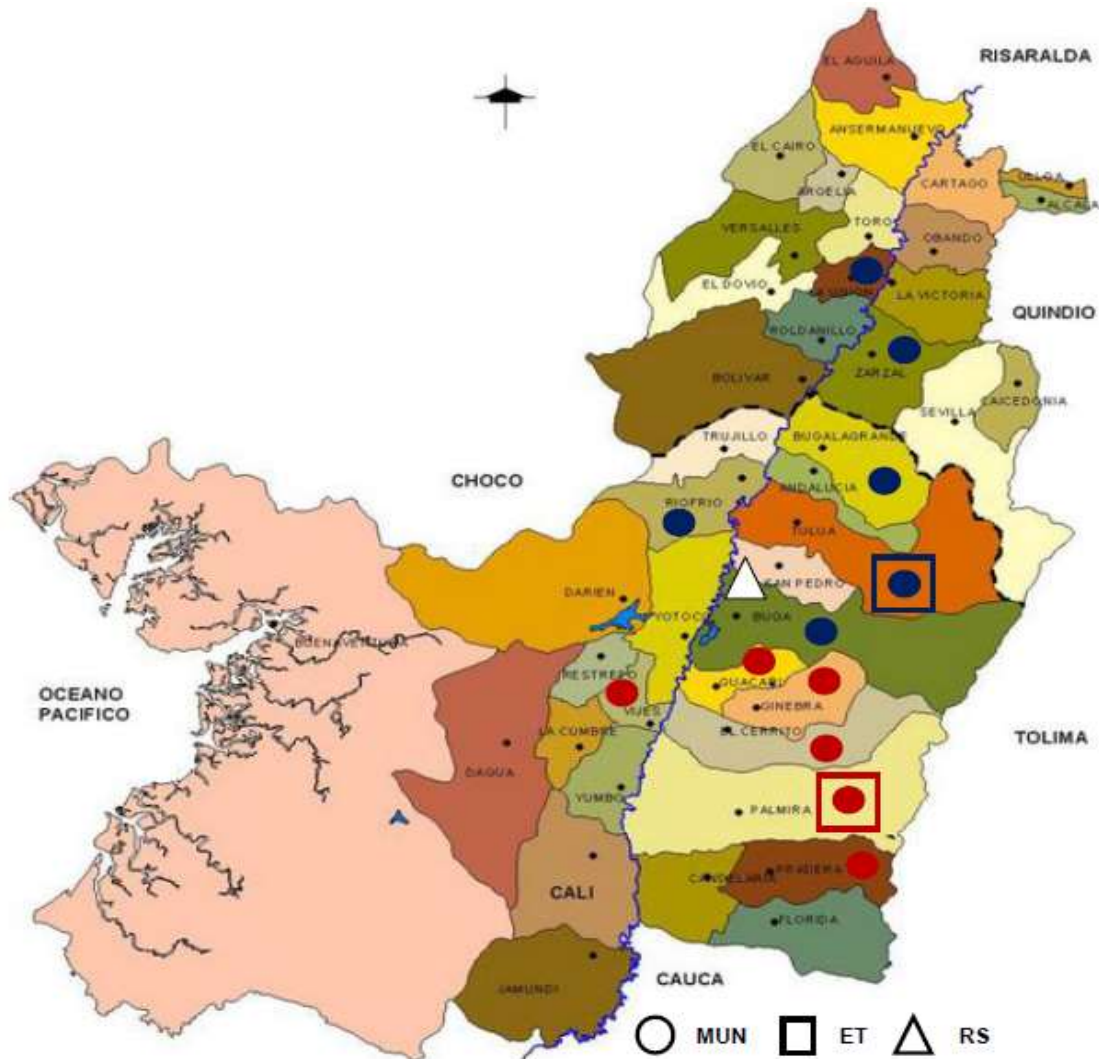


# IMPLEMENTACIÓN

## Producción de residuos en los municipios

Municipio	No. Habitantes	Producción per cápita (ton/hab)	Disposición final (ton/año)
Vijes	10364	0,137	1419,97
Riofrío	15939	0,074	1186,10
Ginebra	20101	0,160	3212,94
Bugalagrande	21398	0,147	3151,31
Guacarí	33112	0,141	4669,17
La Unión	34039	0,156	5295,83
Zarzal	43035	0,217	9353,75
Pradera	51855	0,167	8677,00
Cerrito	56032	0,183	10226,00
Buga	116105	0,228	26423,00
Tuluá	199244	0,197	39157,93
Palmira	294580	0,234	68999,00
<b>TOTAL</b>			<b>181772,00</b>

# RESULTADOS



# RESULTADOS

---

- ❖ Aproximadamente el 87% de los residuos son enviados primero a una estación de transferencia.
- ❖ La instalación que recibe la mayor cantidad de residuos a lo largo del horizonte de estudio es la estación de transferencia de Palmira.
- ❖ El costo logístico está compuesto por los costos de apertura, operación y transporte, siendo éste último el que mayor participación tiene con un 48% .

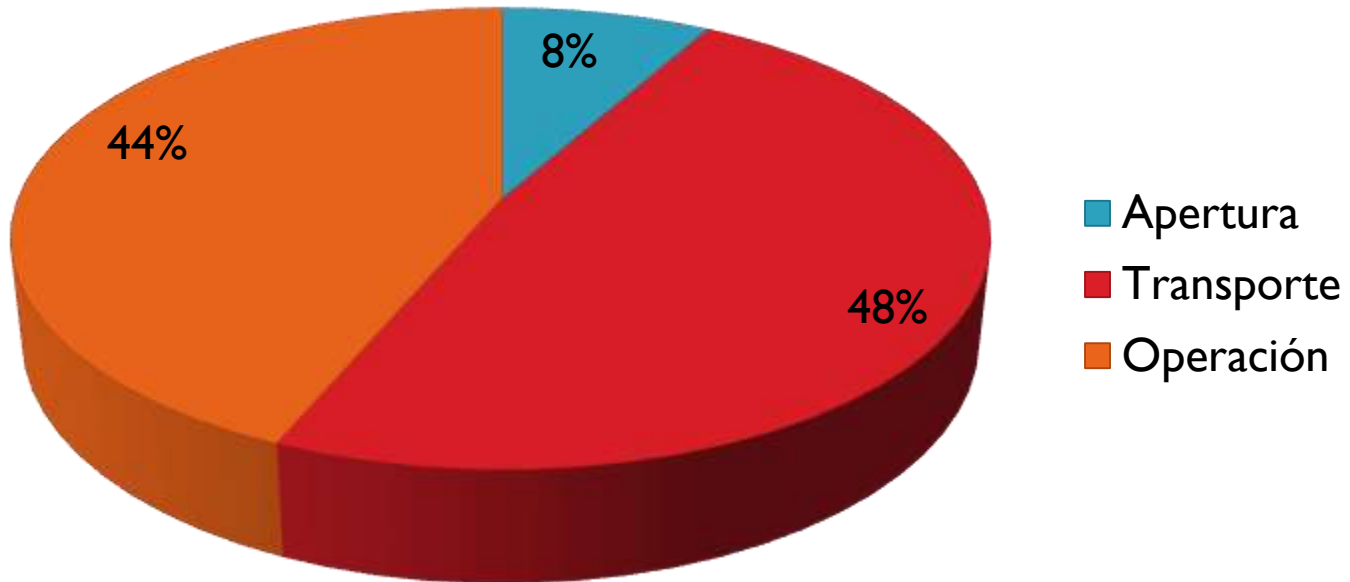




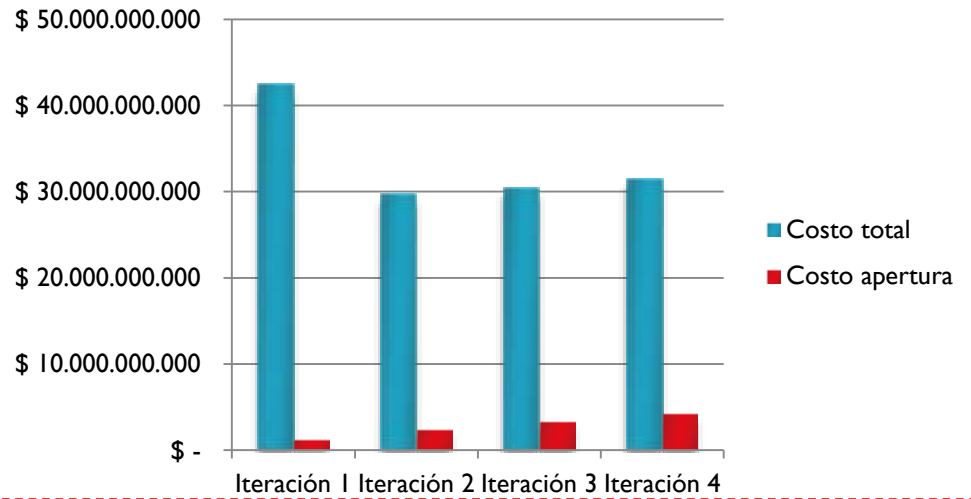
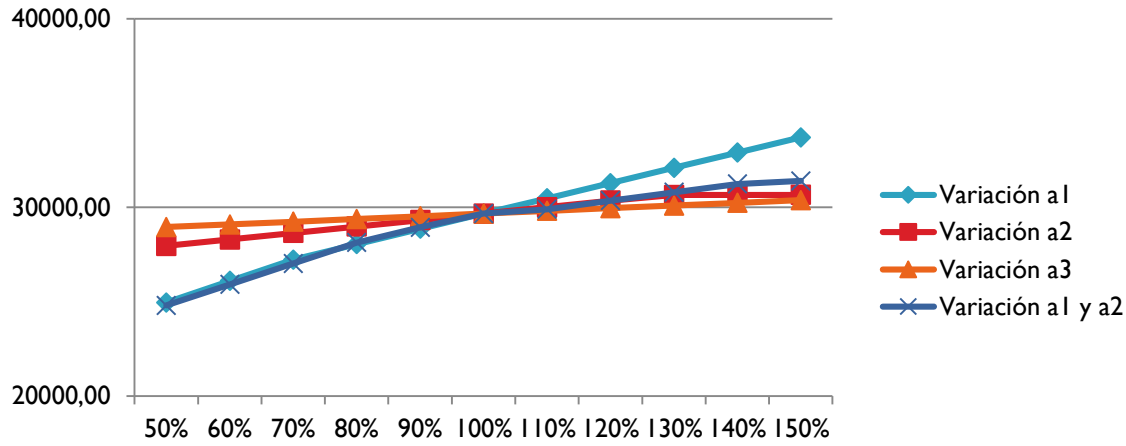
# RESULTADOS

---

## Distribución del costo logístico



# RESULTADOS



# CONCLUSIONES

---

- ❖ El costo total logístico presenta una mayor variación cuando los costos de transporte fluctúan.
- ❖ La solución factible del modelo se encuentra cuando se abren dos estaciones de transferencia.
- ❖ Para trabajos posteriores sería interesante tener en cuenta:
  - ❖ Incertidumbre asociada a la producción de los residuos.
  - ❖ Beneficios percibidos por la recuperación de materiales
  - ❖ Efecto sobre la vida útil del relleno sanitario.



# BIBLIOGRAFÍA

Arrieta Bernate, G. (2001). *Disposición final de residuos sólidos en Colombia*. Bogotá.

Ballou, R. H. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro*. México: Pearson Educación.

Chatzouridis, C., & Komilis, D. (2012). A methodology to optimally site and design municipal solid waste transfer stations using binary programming. *Resources, Conservation and Recycling* , 89-98.

Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP). (Febrero de 2010). *CSCMP*. Recuperado el 27 de Diciembre de 2012, de [http://cscmp.org/sites/default/files/user\\_uploads/resources/downloads/glossary.pdf](http://cscmp.org/sites/default/files/user_uploads/resources/downloads/glossary.pdf)

Econometría. (2004). *Estudio de regulación tarifaria de aseo*. Resumen ejecutivo.

Erkut, E., Karagiannidis, A., Perkoulidis, G., & Tjandra, S. A. (2008). A multicriteria facility location model for municipal solid waste management in North Greece. *European Journal of Operational Research* , 1402-1421.

Komilis, D. (2008). Conceptual modeling to optimize the haul and transfer of municipal solid waste. *Waste Management* , 2355-2365.

Melachrinoudis, E., Min, H., & Wu, X. (1995). A multiobjective model for the dynamic location of landfills. *Location science* , 143-166.

Mosley, R.W. *The Transfer Station - Benefits and Design*. City of Dallas, Texas: Engineer with Department of Street and Sanitation Services.

Ortega Mier, M. A. (2008). *Utilización de métodos cuantitativos para el análisis de problemas localización en logística inversa*. España: Universidad Politécnica de Madrid.



# BIBLIOGRAFÍA

Owen, S. H., & Daskin, M. S. (1998). Strategic facility location: A review. *European Journal of Operational Research*, 423-447

Perdomo Calvo, J. A., & Ramírez, J. A. (2010). Estrategia sobre ubicación y funcionamiento de estaciones de transferencia para el manejo de residuos sólidos en Colombia. *Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico (CEDE)* , 1-20.

Pineda Pablos, N., & Loera Burnes, E. (2007). Bien recolectada pero mal tratada. El manejo municipal de la basura en ciudad Obregón, Hermosillo y Nogales, Sonora. *Estudios Sociales* , 168-193.

Proactiva Colombia. (31 de Diciembre de 2010). *Proactiva Medio Ambiente*. Recuperado el 10 de Mayo de 2012, de [http://www.proactiva.com.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=39&Itemid=274](http://www.proactiva.com.co/index.php?option=com_content&view=article&id=39&Itemid=274)

Sánchez Gómez, J., & Estrada Nuñez, R. (1996). *Estaciones de transferencia de residuos sólidos en áreas urbanas*. México: Instituto Nacional de Ecología.

Schaper, L. T., & Brockway, R. C. (2001). Estaciones de transferencia. En H. F. Lund, *Manual McGraw-Hill de reciclaje* (págs. 23.1-23.37). España: McGraw-Hill.

Superintendencia de Servicios Públicos. (2008). *Informe sobre la situación de la disposición final de Residuos Sólidos en Colombia*.

Uribe Botero, E., & Domínguez Torres, C. (2005). Evolución del servicio de aseo domiciliario durante la última década. *Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico (CEDE)* , 1-49.

Vidal, C. J. (2010). *Planeación, optimización y administración de cadenas de abastecimiento*. Cali: Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística – Universidad del Valle.



**MUCHAS GRACIAS**

