

EXPERIENCIA DE AULA, ESTUDIO DE CASO, LOGÍSTICA AERONÁUTICA. UBICACIÓN DE INSTALACIONES



Bernardo Steven Martínez Romero, MSc
Docente EPFAC - MAELA, Logística



Bernardo Steven Martínez Romero, MSc

Información Académica y Laboral

Ing. Industrial. U. Andes. Bogotá – Colombia. 2008

English Course. Sheffield - Inglaterra. 2009

Maestría Ing. Industrial. U. Andes. Bogotá – Colombia. 2010

Especialización Gerencia Comercial. U. sabana. Bogotá – Colombia. 2013



AGENDA

- Introducción e importancia.
- Planteamiento de la situación.
- Definición de modelos aplicados
- Coordenadas de Google Maps
- Cálculo de Parámetros (Rates, peajes y distancias). Primera parte
- Cálculo de costos y comparación de resultados. Primera parte
- Cálculo de Parámetros (Rates, peajes y distancias). Segunda parte
- Cálculo de costos y comparación de resultados. Segunda parte
- Conclusiones y Bibliografía

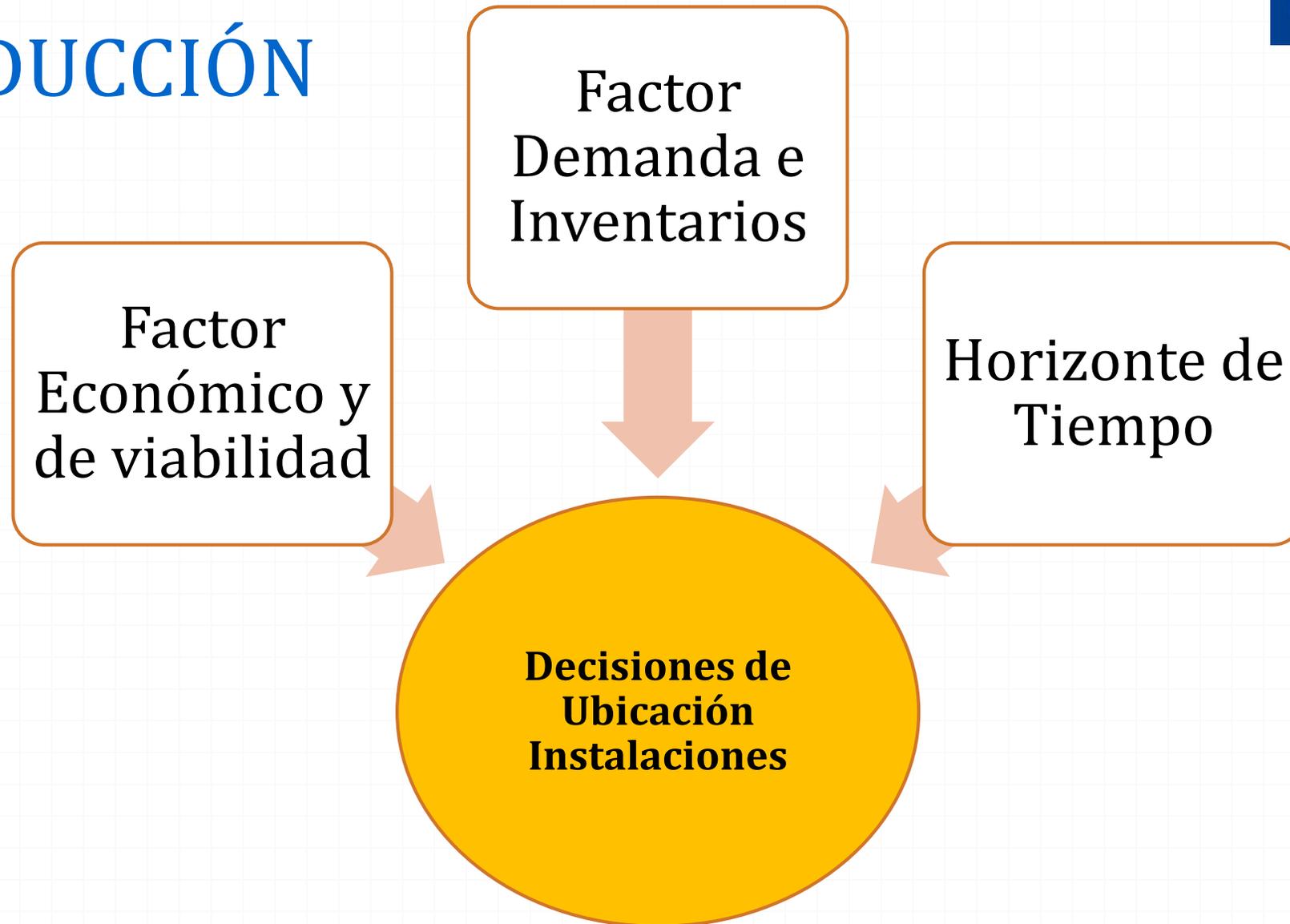


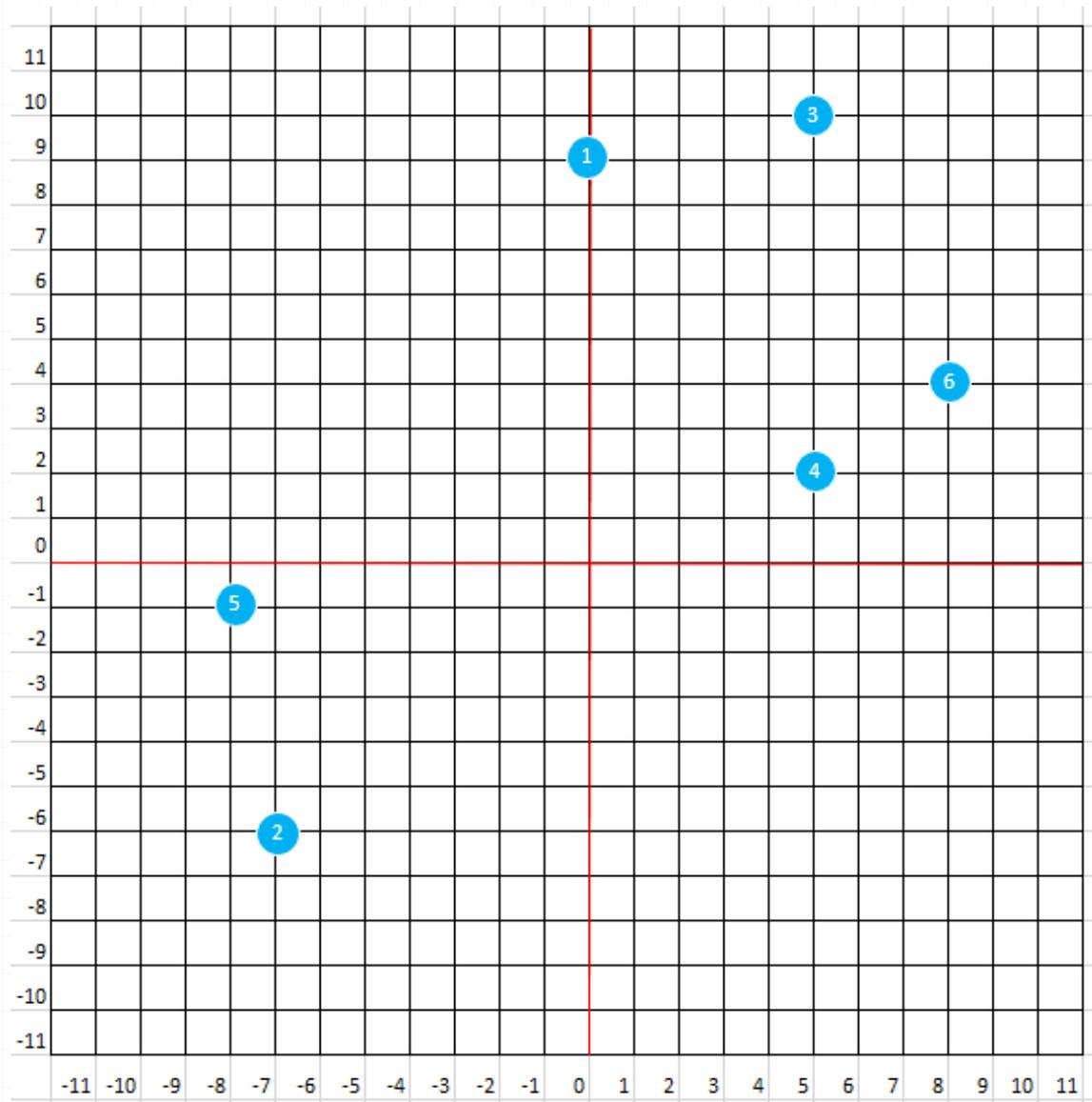
AGENDA

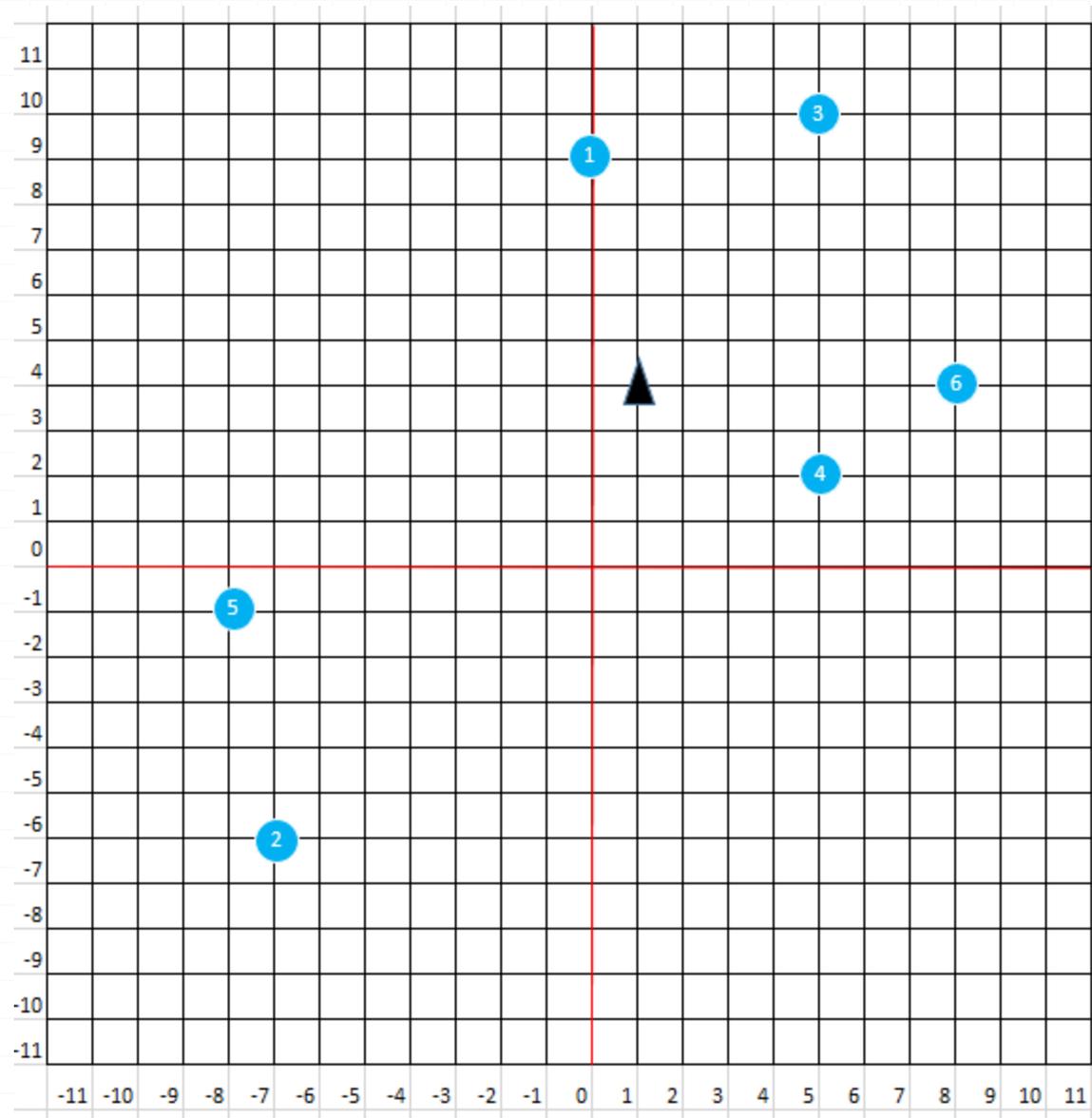
- Introducción e importancia.

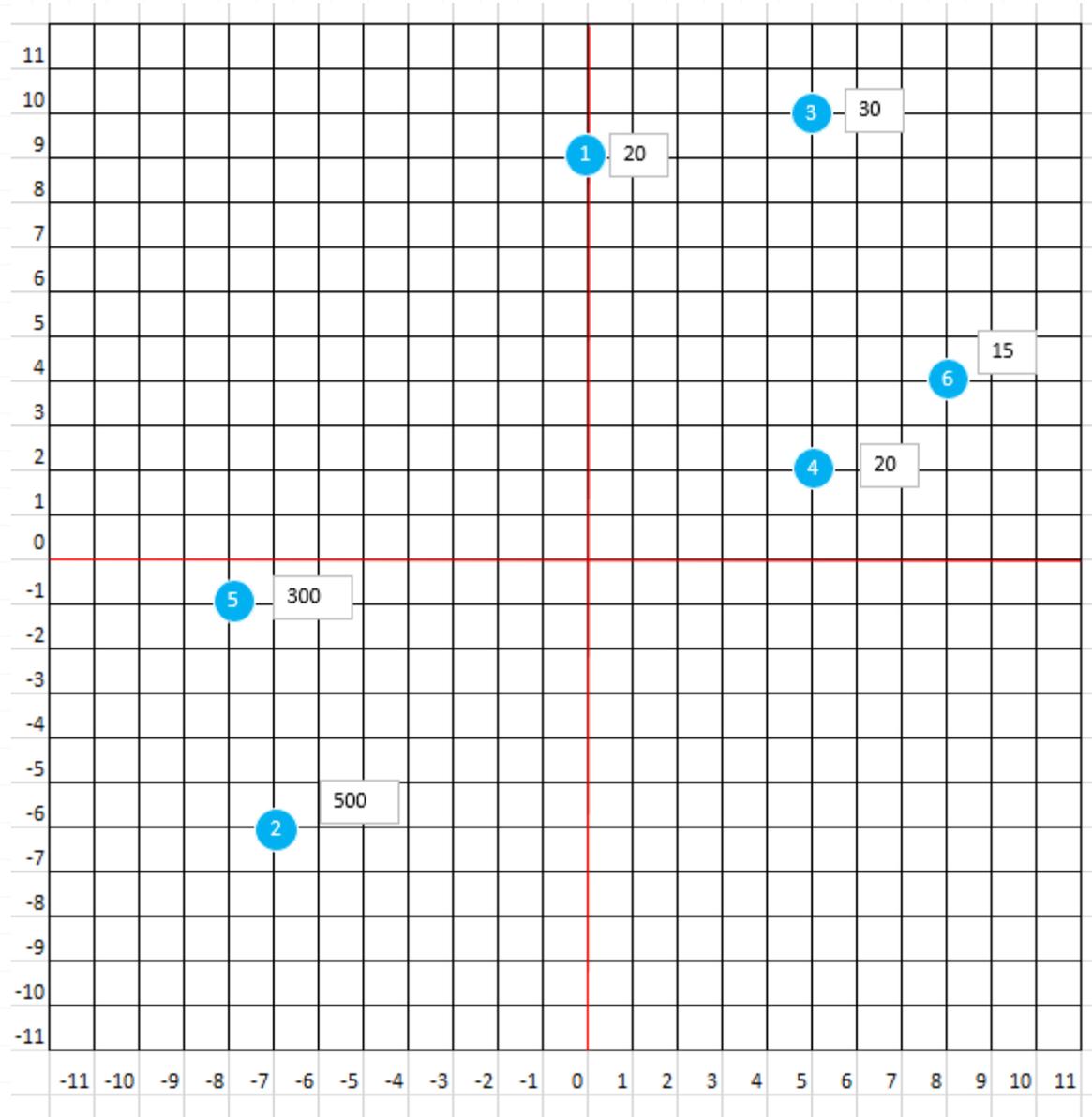


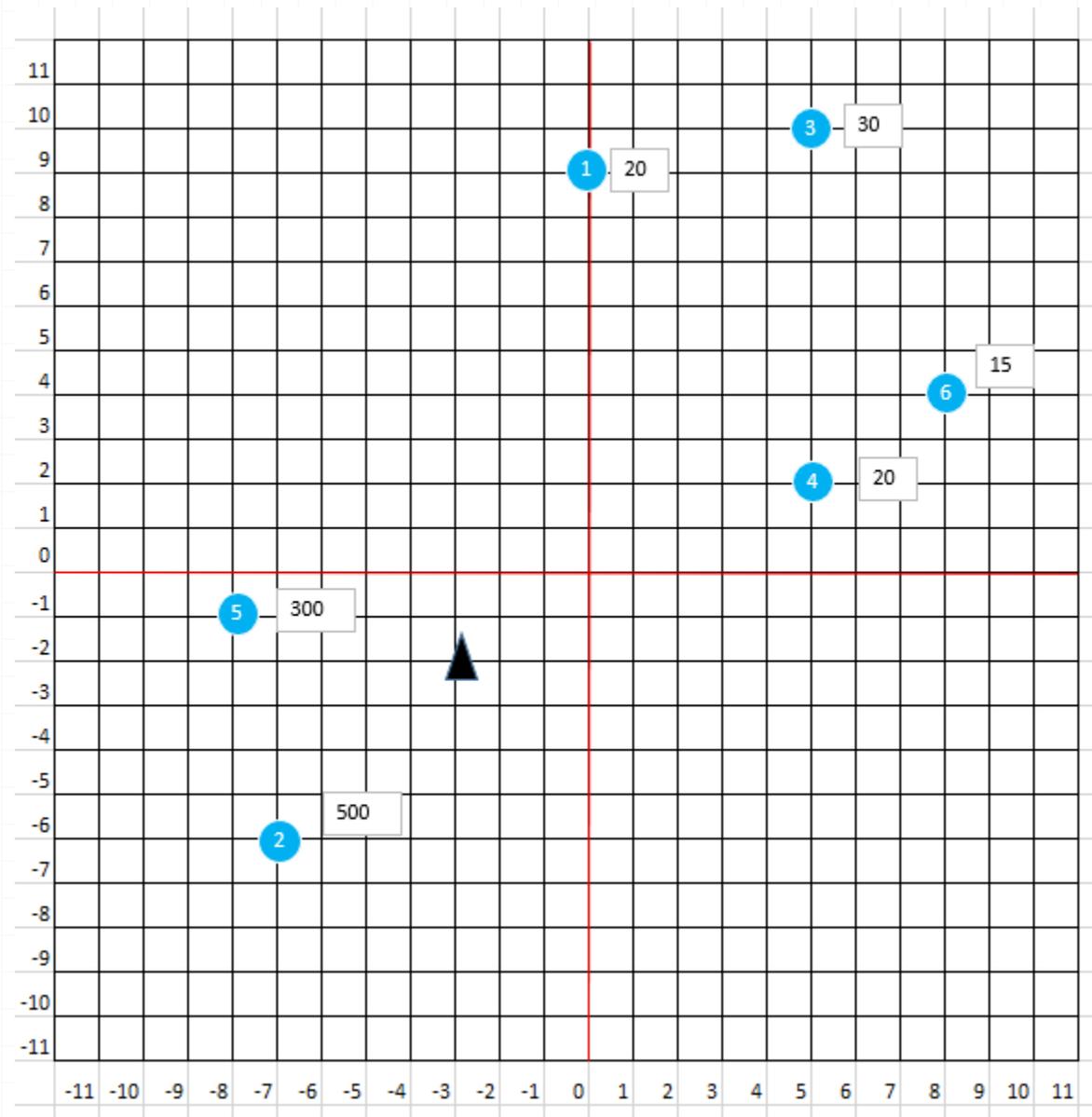
INTRODUCCIÓN











AGENDA

Introducción e importancia.

- Planteamiento de la situación.

Bibliografía



PLANTEAMIENTO DE LA SITUACIÓN



Una compañía de asistencia por desastre debe tomar la decisión de abrir dos nuevos almacenes para satisfacer la demanda de los mercados de emergencia de acuerdo con el volumen estimado en kg dado por el gobierno para un año de operación (48 semanas).

La compañía tiene dos modos de transporte para llevar mercados de emergencia a las ciudades. El primero es un **helicóptero Bell-202** y un **camión NHR**.

También es necesario abrir una fabrica de empaques que satisfaga la demanda de cajas de las ciudades principales



PLANTEAMIENTO DE LA SITUACIÓN

Demanda (con restricciones)

V_j = Demanda de la ciudad j (volumen)

Modo de transporte (m)

Rate R_m = Flete de Transporte según modo de transporte

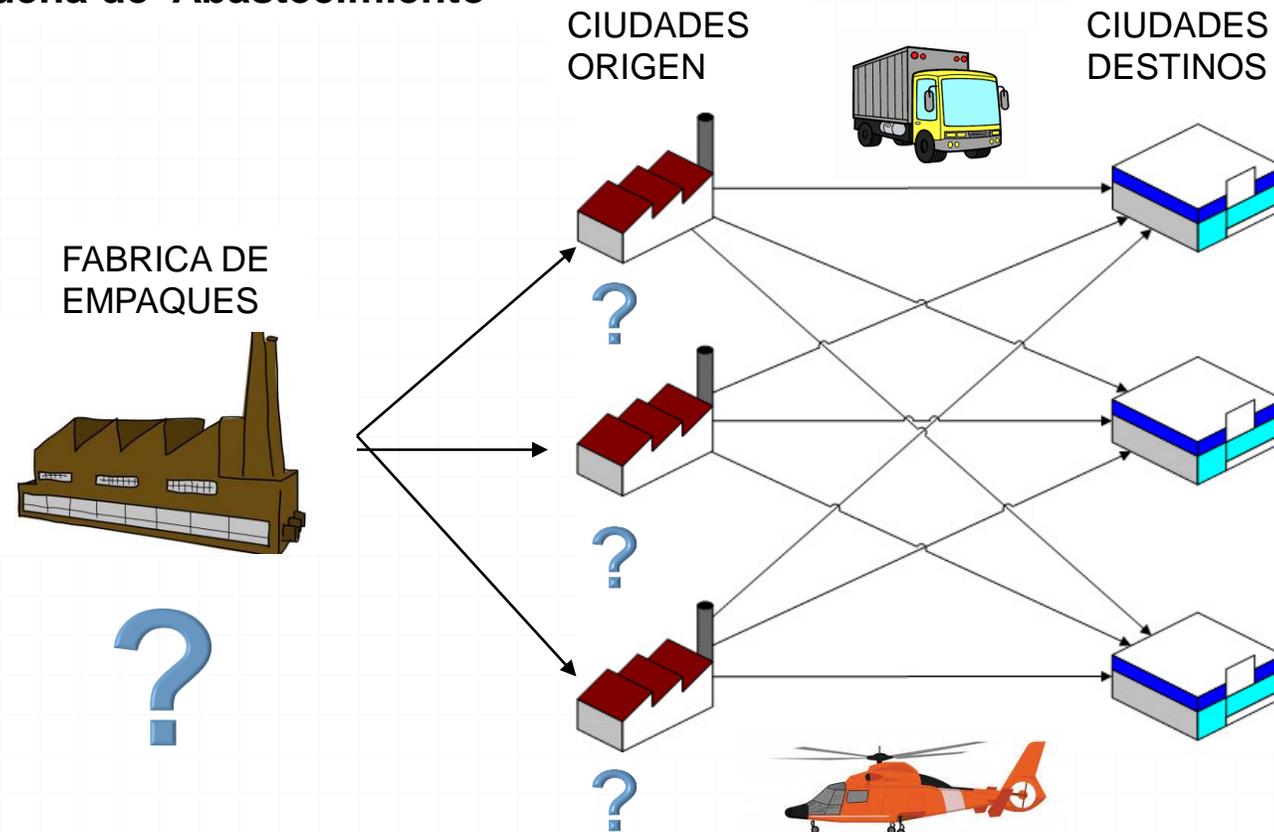
Capacidad Cap_m =

Capacidad de carga

Arcos (Conexiones)

d_{ij} = Distancia entre la ciudad i y la ciudad j

Cadena de Abastecimiento



AGENDA

Introducción e importancia.

Planteamiento de la situación.

- Definición de modelos aplicados



MODELOS APLICADOS

Centroide

Se calcula con las coordenadas existentes utilizando la siguiente aproximación

$$C_x = \frac{\sum_{i=1}^n X_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad C_y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

Donde:

C_x = Coordenada en X del centroide

C_y = Coordenada en Y del centroide

X_i = Coordenada en X de de la i – ésima ubicación

Y_i = Coordenada en Y de de la i – ésima ubicación

V_i = Volumen demandado en la i – ésima ubicación

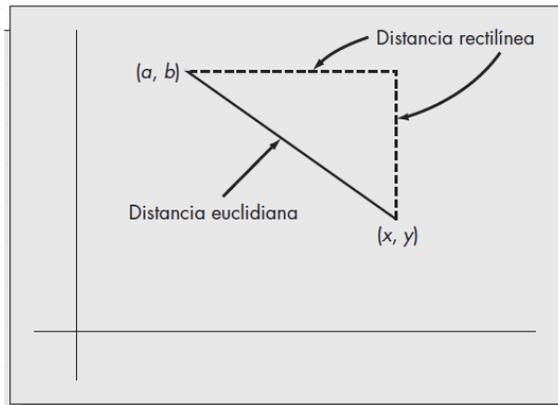
Factor Peso

1. El optimo se calcula con las coordenadas existentes.
2. Se calcula como la mitad del acumulado de los factores de peso después de ordenar de menor a mayor las coordenadas de manera independiente. Tabla para X y para Y
3. Se escoge el primer valor que supere al valor medio para cada coordenada **X** y **Y**.
4. Si el valor medio es exactamente la mitad del acumulado de los pesos nos encontramos en un escenario de óptimos múltiples y serán todos los valores del intervalo de las coordenadas



MODELOS APLICADOS

Cálculo de las Distancias



Calculo de Distancia Rectilínea

$$d_r = K(|X_i - \mathbf{X}| + |Y_i - \mathbf{Y}|)$$

Calculo de Distancia Euclidiana

$$d_e = K\sqrt{(X_i - \mathbf{X})^2 + (Y_i - \mathbf{Y})^2}$$

K = Factor para escalar ej: km

Cálculo de Costos

$$CT = \sum_i^n V_i R_i d_i$$

CT = Costo Total

V_i = Volumen en la ubicación i

R_i = Tarifa de transporte a la ubicación i

d_i = Distancia a la ubicación i desde la instalación definida

AGENDA

Introducción e importancia.

Planteamiento de la situación.

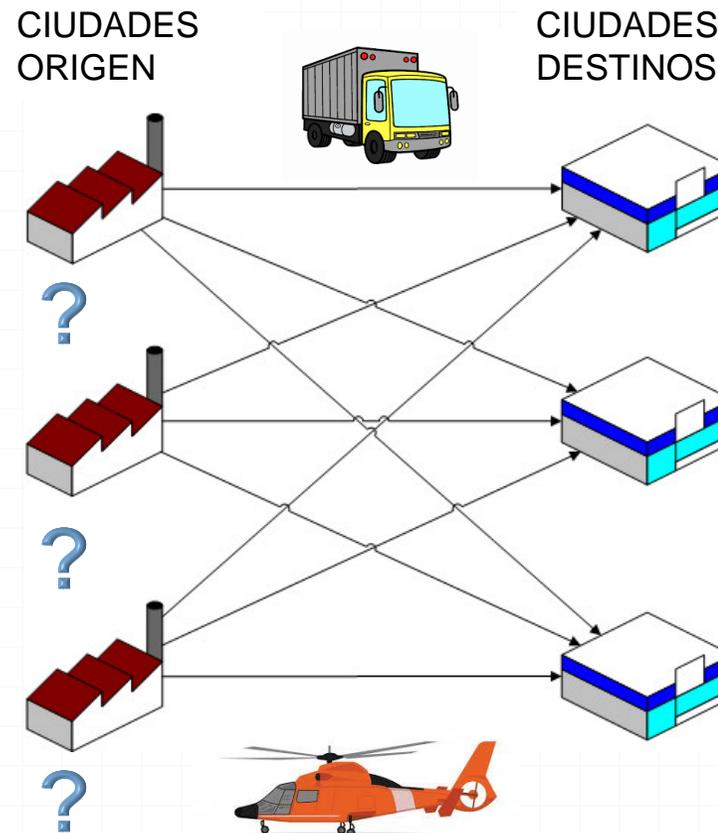
Definición de modelos aplicados

- **Coordenadas de Google Maps**



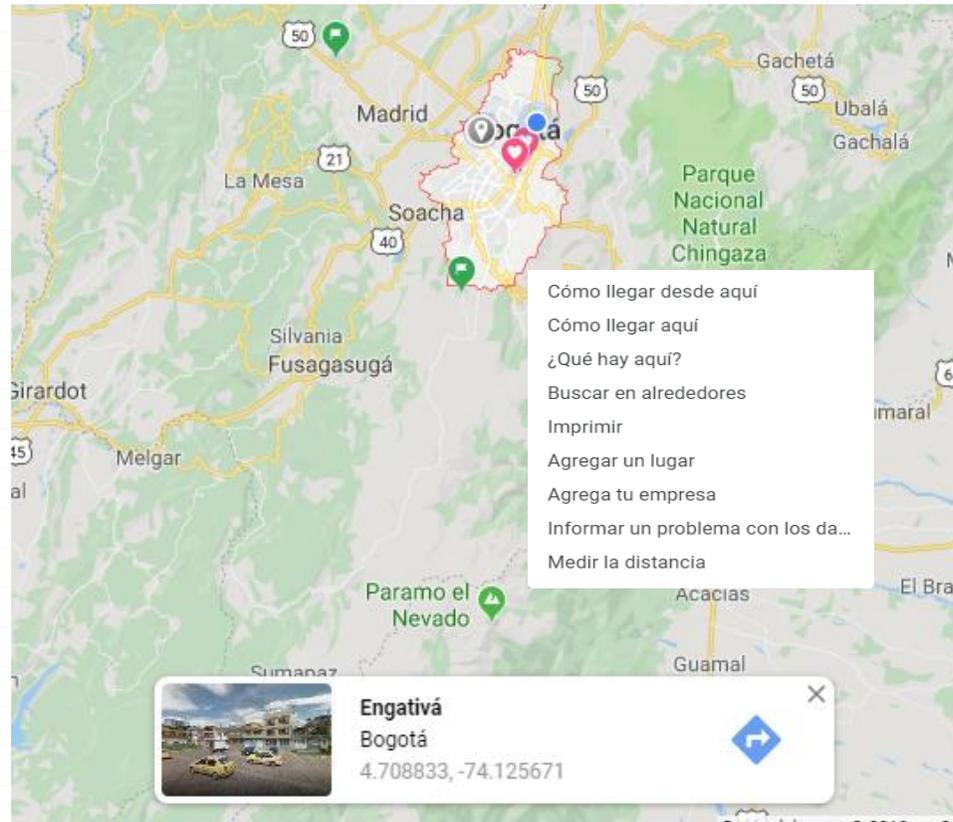
PRIMERA PARTE

Encontrar mejor ciudad para abrir el Centro de Distribución según Modo de transporte



GOOGLE MAPS

Definición de Coordenadas

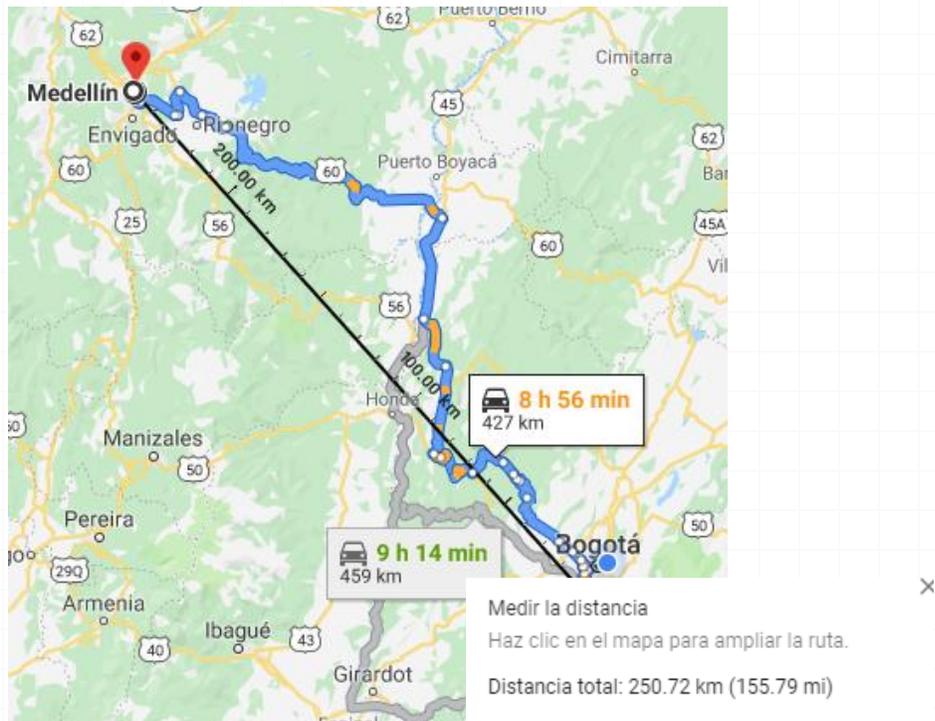


Ciudades destino y Modo de Transporte

Ciudades con emergencia	Modo de transporte	Xi	Yi
Tumaco – Nariño	Camión	1,787061	-78,7903
Buenaventura - Valle del Cauca	Camión	3,883368	-77,0206
Leticia - Amazonas	Helicóptero	-4,19615	-69,9373
Soledad – Atlántico	Camión	10,91753	-74,7943
Riohacha – Guajira	Helicóptero	11,53856	-72,9167
Turbo - Antioquía	Helicóptero	8,095312	-76,7281
Villanueva - Casanare	Helicóptero	4,611252	-72,9272
Cucuta - Norte de Santander	Camion	7,888071	-72,4952

GOOGLE MAPS

Definición de Distancias por modo de transporte



Ciudades Origen y Modo de Transporte

Ciudades Origen	Modo de Transporte
Bogotá	Helicóptero
Calí- Valle del Cauca	Helicóptero
Pasto Nariño	Camión
Medellín - Antioquía	Helicóptero
Montería	Camión
Bucaramanga	Camión
Barranquilla	Helicóptero

AGENDA

Introducción e importancia.

Planteamiento de la situación.

Definición de modelos aplicados

Coordenadas de Google Maps

- Cálculo de Parámetros (Rates, peajes y distancias). Primera parte



Cálculo de Parámetros

Costo Peajes Origen – Destino Camión



Peajes: 17
Tiempo Aproximado: 24:00
Distancia: 1329
Mapa: [Ver Mapa vial Cúcuta - Pasto](#)

Valor total de los peajes en pesos

Categoría I: 157,200
Categoría II: 188,000
Categoría III: 369,300
Categoría IV: 465,000
Categoría V: 580,100
Categoría VI: 125,000
Categoría VII: 140,100

Clasificación de automotores para peajes de Colombia

Cat. I: Automóviles, Camperos y Camionetas
Cat. II: Buses, Busetas con eje trasero de doble llanta y Camión
Cat. III: Camiones de tres y cuatro ejes
Cat. IV: Camiones de cinco ejes
Cat. V: Camiones de seis ejes

Cúcuta - Pasto, peaje por peaje

Costo peajes origen destino Camión Solo IDA				
Origen	Tumaco	Buenaventura	Soledad	Cúcuta
Pasto	\$ 9.900 (1)	\$ 43.700 (5)	\$ 202.900 (23)	\$ 157.200 (17)
Monteria	\$ 184.300 (16)	\$ 140.000 (10)	\$ 42.800 (6)	\$ 61.600 (8)
Bucaramanga	\$ 152.500 (19)	\$ 105.500 (12)	\$ 48.200 (9)	\$ 14.600 (2)

En Verde el numero de peajes por ruta

https://www.viajaporcolombia.com/peajes/pasto-cucuta_418/



Cálculo de Parámetros

Distancias en Km. Matriz Origen - Destino

PRINCIPAL/EMERGENCIA	MEDIO DE TRANSPORT E	TUMACO	BUENAVENTURA	LETICIA	SOLEDAD	RIOACHA	TURBO	VILLANUEVA	CUCUTA
BOGOTA	Helicóptero			1092,73		770	477,01	127,08	
CALI	Helicóptero			1123,13		983,45	517,18	419,85	
PASTO	Camión	276	501		1630				1333
MEDELLIN	Helicóptero			1319,56		656,19	242,17	344,04	
MONTERIA	Camión	1598	877		347				705
BUCARAMANGA	Camión	1425	812		582				195
BARRANQUILLA	Helicóptero			1774,7		214,22	386,17	740,62	

En color **Rojo** se evidencia las distancias mas largas a recorrer y **Verde** las distancias mas cortas según modo de transporte



Cálculo de Parámetros

Características del Helicóptero :

- Capacidad: 14 personas, o carga equivalente
 - Costo por galón de combustible se estima \$ 15800 pesos.
 - Consumo de Combustible 60 galones cada 2 horas.
 - Peso Útil disponible: **2250 kg**
- Desempeño**
- Velocidad promedio (Vc): 210 km / h.



Cálculo de la tasa R del Helicóptero

$$15800 \frac{\$}{gal} * 30 \frac{gal}{h} = 474000 \frac{\$}{h}$$

$$\frac{474000 \frac{\$}{h}}{210 \frac{Km}{h}} = 2257.14 \frac{\$}{Km}$$

$$\frac{2257.14 \frac{\$}{Km}}{2250Kg} = 1.003 \frac{\$}{Km * Kg}$$

Cálculo de Parámetros

Características del Camión :

- Costo por galón de combustible se estima \$ 9000 pesos.
 - Consumo de Combustible 2 galones cada 36 km.
 - Peso Útil disponible: **3000 kg**
- Desempeño**
- Velocidad promedio (Vc): 60 km / h.



Cálculo de la tasa R del Camión

$$9000 \frac{\$}{gal} * 3,3 \frac{gal}{h} = 29700 \frac{\$}{h}$$

$$\frac{29700 \frac{\$}{h}}{60 \frac{Km}{h}} = 495 \frac{\$}{Km}$$

$$\frac{495 \frac{\$}{Km}}{3000 Kg} = 0.165 \frac{\$}{Km * Kg}$$

Cálculo de Parámetros



Peso caja 15 KG

Cálculo de viajes (recorridos Ida-Regreso)

Se asume que los modos de transporte van y regresan llenos (full capacidad)

Ciudades Destino	Demanda cajas/semana	Demanda en Kg /semana	Viajes semanales
Tumaco	200	3000	1
Buenaventura	400	6000	2
Soledad	600	9000	3
Cúcuta	200	3000	1
Leticia	150	2250	1
Riohacha	300	4500	2
Turbo	150	2250	1
Villanueva	300	4500	2



AGENDA

Introducción e importancia.

Planteamiento de la situación.

Definición de modelos aplicados

Coordenadas de Google Maps

Cálculo de Parámetros (Rates, peajes y distancias). Primera parte

- Cálculo de costos y comparación de resultados. Primera parte



Cálculo de Parámetros

Cálculo Costos de Abastecimiento

El costo se cálculo para un horizonte de tiempo de 48 semanas que corresponden a un año de operación en el caso

$$CT = \sum_i^n V_i R_i d_i$$

CIUDAD ORIGEN/DESTINO	MODO	TUMACO	BUENAVENTURA	LETICIA	SOLEDAD	RIOACHA	TURBO	VILLANUEVA	CUCUTA
BOGOTA	Hel			\$ 236.778.981		\$ 333.696.000	\$ 103.361.253	\$ 55.072.841	
CALI	Hel			\$ 243.366.226		\$ 426.199.131	\$ 112.065.518	\$ 181.950.994	
PASTO	Cam	\$ 14.185.152	\$ 56.438.304		\$ 292.920.480				\$ 79.011.216
MEDELLIN	Heli			\$ 285.929.801		\$ 284.373.998	\$ 52.474.779	\$ 149.097.106	
MONTERIA	Cam	\$ 94.320.096	\$ 110.987.808		\$ 62.244.432				\$ 39.719.760
BUCARAMANGA	Cam	\$ 82.971.600	\$ 98.130.048		\$ 97.605.792				\$ 10.752.240
BARRANQUILLA	Heli			\$ 384.552.137		\$ 92.836.827	\$ 83.677.522	\$ 320.963.547	



Cálculo de Parámetros

Selección de ciudad origen basada en costos por Modo de transporte por año de operación

$$CT = \sum_i^n V_i R_i d_i$$

CIUDAD ORIGEN/DESTINO	MODO	COSTO TOTAL CON PEAJES
BOGOTA	Hel	\$ 728.909.074,29
CALI	Hel	\$ 963.581.869,71
PASTO	Cam	\$ 442.555.152,00
MEDELLIN	Heli	\$ 771.875.684,57
MONTERIA	Cam	\$ 307.272.096,00
BUCARAMANGA	Cam	\$ 289.459.680,00
BARRANQUILLA	Heli	\$ 882.030.034,29



AGENDA

Introducción e importancia.

Planteamiento de la situación.

Definición de modelos aplicados

Coordenadas de Google Maps

Cálculo de Parámetros (Rates, peajes y distancias). Primera parte

Cálculo de costos y comparación de resultados. Primera parte

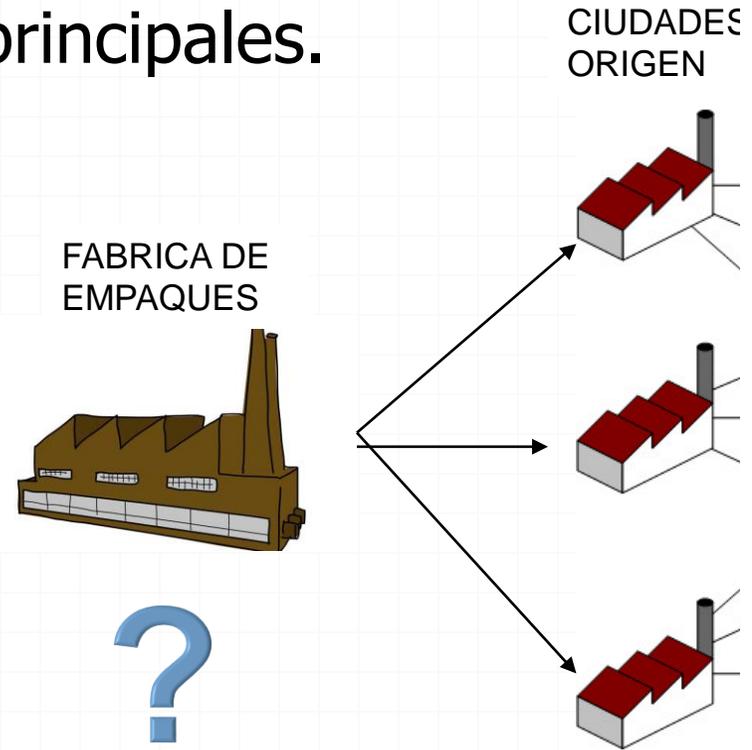
- Cálculo de Parámetros (Rates, peajes y distancias). Segunda parte



SEDUNDA PARTE FABRICA

Selección de Ubicación Fabrica de empaques para ciudades principales.

Coordenadas		
Ciudades	X	Y
Bogotá	4,598019	-74,076019
Cali	3,451656	-76,531994
Medellín	6,247637	-75,565817
Barranquilla	11,004108	-74,806981
Pasto	1,205886	-77,285788
Monteria	8,750986	-75,878537
Bucaramanga	7,119354	-73,122745



Cadena de Abastecimiento

$$R = 9000 \frac{\$}{GAL} \times \frac{3,33 GAL}{1 HORA} \times \frac{1 HORA}{60 KM} = 499,5 \frac{\$}{KM}$$

Rate en \$/km		
Helicóptero	2257,14	\$/Km
Camión	500	\$/Km

$$R = 15800 \frac{\$}{GAL} \times \frac{30 GAL}{1 HORA} \times \frac{1 HORA}{210 KM} = 2257,14 \frac{\$}{KM}$$



Cálculo de Parámetros

Cálculo de capacidades.

información Capacidad por Modo de Transporte			
Espacio almacenamiento en metros			
	Largo	Ancho	Alto
Helicóptero	3	1,5	2
Camión	2	1,5	2

Metros cubicos de capacidad	
Helicóptero	9
Camión	6

Demanda semanal por ciudad y Modo de Transporte	
Helicóptero	Demanda m ³ (semanal)
Bogotá	24
Cali	6
Medellín	18
Barranquilla	12
Camión	Demanda m ³ (semanal)
Pasto	9
Monteria	18
Bucaramanga	9

Cálculo de Parámetros

Cálculo de número de viajes.



Ciudades Principales	Modo de Transporte	Número de viajes por semana
Bogota	Helicóptero	6
Cali	Helicóptero	2
Medellin	Helicóptero	4
Barranquilla	Helicóptero	4
Monteria	Camión	6
Bucaramanga	Camión	4
Pasto Nariño	Camión	4



MODELOS APLICADOS

Centroide

Se calcula con las coordenadas existentes utilizando la siguiente aproximación

$$C_x = \frac{\sum_{i=1}^n X_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad C_y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

Donde:

C_x = Coordenada en X del centroide

C_y = Coordenada en Y del centroide

X_i = Coordenada en X de de la i – ésima ubicación

Y_i = Coordenada en Y de de la i – ésima ubicación

V_i = Volumen demandado en la i – ésima ubicación

Factor Peso

1. El optimo se calcula con las coordenadas existentes.
2. Se calcula como la mitad del acumulado de los factores de peso después de ordenar de menor a mayor las coordenadas de manera independiente. Tabla para X y para Y
3. Se escoge el primer valor que supere al valor medio para cada coordenada **X** y **Y**.
4. Si el valor medio es exactamente la mitad del acumulado de los pesos nos encontramos en un escenario de óptimos múltiples y serán todos los valores del intervalo de las coordenadas



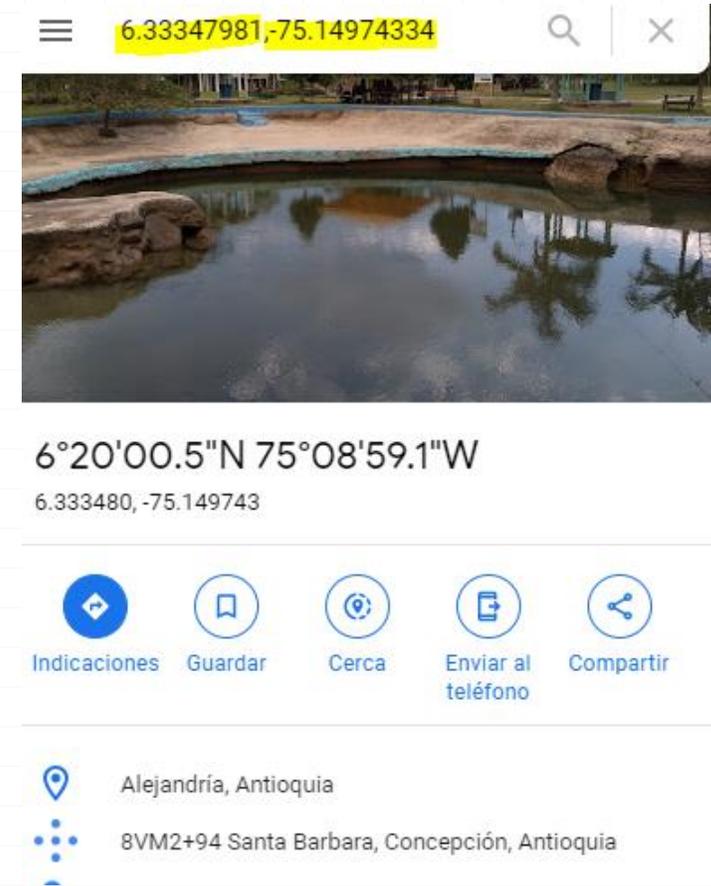
Cálculo de Parámetros

Ubicación Fabrica Método Centroide

$$C_x = \frac{\sum_{i=1}^n X_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

$$C_y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

Coordenadas del nuevo punto de abastecimiento			
	Cx	Cy	Nombre del lugar
Centroide	6,33347981	-75,14974334	Santa bárbara Antioquia



Cálculo de Parámetros

Ubicación Fabrica Factor Peso

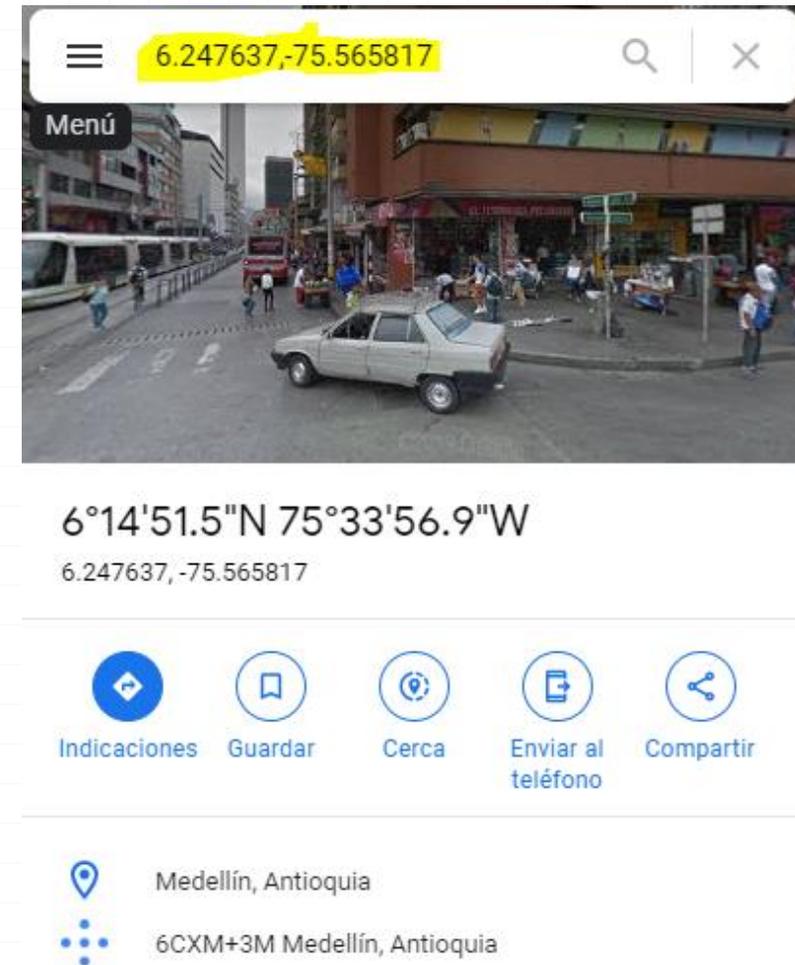
Factor Peso							
	Fx	Peso	Peso Acum		Fy	Peso	peso Acum
Pasto	1,205886	9	9	Pasto	-77,285788	9	9
Cali	3,451656	6	15	Cali	-76,531994	6	15
Bogotá	4,598019	24	39	Monteria	-75,878537	18	33
Medellín	6,247637	18	57	Medellín	-75,565817	18	51
Bucaramanga	7,119354	9	66	Barranquilla	-74,806981	12	63
Monteria	8,750986	18	84	Bogotá	-74,076019	24	87
Barranquilla	11,004108	12	96	Bucaramanga	-73,122745	9	96
			48				48



Cálculo de Parámetros

Ubicación Fabrica Factor Peso

Coordenadas del nuevo punto de abastecimiento			
	Fx	Fy	Nombre del lugar
Factor peso	6,247637	-75,565817	Medellín



AGENDA

Introducción e importancia.

Planteamiento de la situación.

Definición de modelos aplicados

Coordenadas de Google Maps

Cálculo de Parámetros (Rates, peajes y distancias). Primera parte

Cálculo de costos y comparación de resultados. Primera parte

Cálculo de Parámetros (Rates, peajes y distancias). Segunda parte

- **Cálculo de costos y comparación de resultados. Segunda parte**



Cálculo de Costos

Cálculo de Costos Método Centroide

$$C_x = \frac{\sum_{i=1}^n X_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

$$C_y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

Centroide	Distancia Km	# viajes año	Costo Semana	Costo Anual
Bogotá	226,63	144	\$ 3.069.218	\$ 147.322.450
Cali	355,14	48	\$ 1.603.203	\$ 76.953.765
Medellín	46,97	96	\$ 424.072	\$ 20.355.456
Barranquilla	520,72	96	\$ 4.701.358	\$ 225.665.170
Pasto	902	96	\$ 1.804.000	\$ 86.592.000
Monteria	435	144	\$ 1.305.000	\$ 62.640.000
Bucaramanga	353	96	\$ 706.000	\$ 33.888.000
Total			\$ 13.612.851	\$ 653.416.841

Se calcula el costo anual para 48 semanas de operación

Las distancias se definen desde el Centroide hasta cada una de las ciudades u dependiendo del modo de transporte



Cálculo de Costos

Cálculo de Costos Método Factor Peso

Factor peso	Distancia en Km	# viajes año	Costo Semana	Costo Anual
Bogotá	246,66	144	\$ 3.340.481	\$ 160.343.095
Cali	328,81	48	\$ 1.484.342	\$ 71.248.430
Medellín	0	96	\$ 0	\$ 0
Barranquilla	535,43	96	\$ 4.834.168	\$ 232.040.064
Pasto	803	96	\$ 1.606.000	\$ 77.088.000
Monteria	405	144	\$ 1.215.000	\$ 58.320.000
Bucaramanga	392	96	\$ 784.000	\$ 37.632.000
		Total	\$ 13.263.991	\$ 636.671.589

Se calcula el costo anual para 48 semanas de operación

Las distancias se definen desde el Centroides hasta cada una de las ciudades u dependiendo del modo de transporte



Centro de Gravedad

1. Determinar coordenadas X y Y para cada punto de origen y de demanda, junto con volúmenes del punto y tarifas de transporte lineal.
2. Ubicación inicial a partir de las fórmulas de centro de gravedad omitiendo la distancia d_i .
3. Utilizar solución paso dos para calcular d_i no es necesario usar el factor de escala K en este paso.
4. Sustituir d_i en las ecuaciones de coordenadas de la diapositiva anterior.
5. Recalcular d_i con solución paso 4.
6. Repetir paso 4 y 5 hasta que el cambio de las coordenadas sea mínimo o ninguno.
7. Calcular costo total TC.

$$\bar{X} = \frac{\sum_i V_i R_i X_i / d_i}{\sum_i V_i R_i / d_i} \quad (3)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_i V_i R_i Y_i / d_i}{\sum_i V_i R_i / d_i} \quad (4)$$

Donde:

\bar{X}, \bar{Y} = Puntos de coordenada
de la instalación a ubicar

X_i = Coordenada en X de de la i

Y_i = Coordenada en Y de de la i

R_i = Rate (Tasa) de aprovisionamiento de i

d_i = Distancia de aprovisionamiento a i



Resultados Centro de Gravedad

Después de 9 operaciones

Centro de gravedad				
Destino	Distancia	# viajes x año	Costo Sem	Costo Anual
Bogota	218,33	144	\$ 2.956.812	\$ 141.926.976
Cali	322,27	48	\$ 1.454.819	\$ 69.831.305
Medellin	29,24	96	\$ 263.995	\$ 12.671.781
Barranquilla	548,68	96	\$ 4.953.797	\$ 237.782.235
Pasto	856	96	\$ 1.712.000	\$ 82.176.000
Monteria	430	144	\$ 1.290.000	\$ 61.920.000
Bucaramanga	417	96	\$ 834.000	\$ 40.032.000
			\$ 13.465.423	\$ 646.340.297

Se evidencia que con el Centro de Gravedad el costo mas alto esta asociado a la distancia que tienen que recorrer el modo de transporte terrestre a buscar rutas de salida alternas a las coordenadas obtenidas



Cálculo de Costos

Comparación de Costos

Centroide	Factor Peso	Ahorro \$	Ahorro %
\$ 653.416.841	\$ 636.671.589	-\$ 16.745.253	-2,6%

El ahorro de la tabla es anual



AGENDA

Introducción e importancia.

Planteamiento de la situación.

Definición de modelos aplicados

Coordenadas de Google Maps

Cálculo de Parámetros (Rates, peajes y distancias). Primera parte

Cálculo de costos y comparación de resultados. Primera parte

Cálculo de Parámetros (Rates, peajes y distancias). Segunda parte

Cálculo de costos y comparación de resultados. Segunda parte

- Conclusiones y Bibliografía



CONCLUSIONES

- Esta simulación como estrategia pedagógica en aula permite al estudiante desarrollar competencias asociadas a la identificación, formulación y resolución de problemas de ubicación de instalaciones
- Con este ejercicio se fortalece el uso de herramientas TICs gratuitas que permiten trabajar con datos reales y enfrentar al estudiante a situaciones problema para la toma de decisiones en su contexto laboral
- Este tipo de ejercicios son aplicables a la logística en cualquier modelo de cadena de abastecimiento y para todo tipo de modo de transporte al permitir hacer planeación estratégica a la hora de ubicar instalaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN Y LAS OPERACIONES, Steven Nahmias. 5ta Edición
- LOGISTICA. ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO. Ballou, Ronald. Pearson – Prentice-Hall - 2004 (5 edición)
- DESIGNING AND MANAGING THE SUPPLY CHAIN_ CONCEPTS, STRATEGIES, David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi, David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi- Cases (1999)

Gracias!