

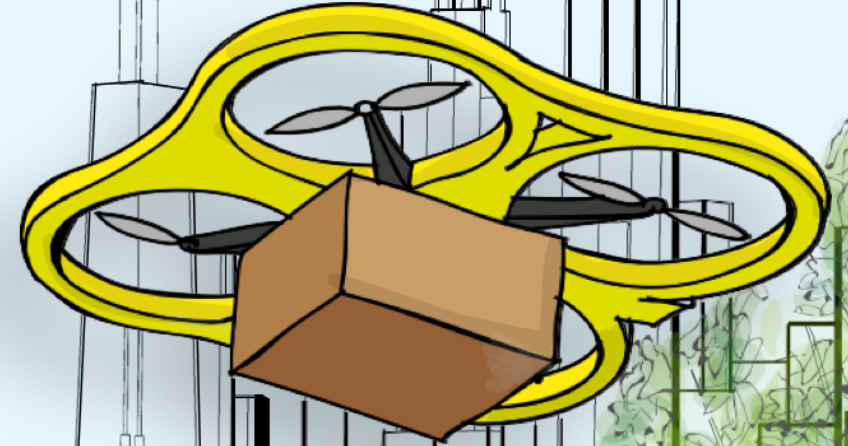
EL PROBLEMA DEL VENDEDOR VIAJERO SELECTIVO CON REABASTECIMIENTOS DE DRON

Nuevo uso de drones para asistir en la distribución de pedidos

JUAN C. PINA-PARDO¹, DANIEL F. SILVA², ALICE E. SMITH²

¹ Escuela de Ingeniería Industrial, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile

² Departamento de Ingeniería Industrial y Sistemas, Auburn University, USA



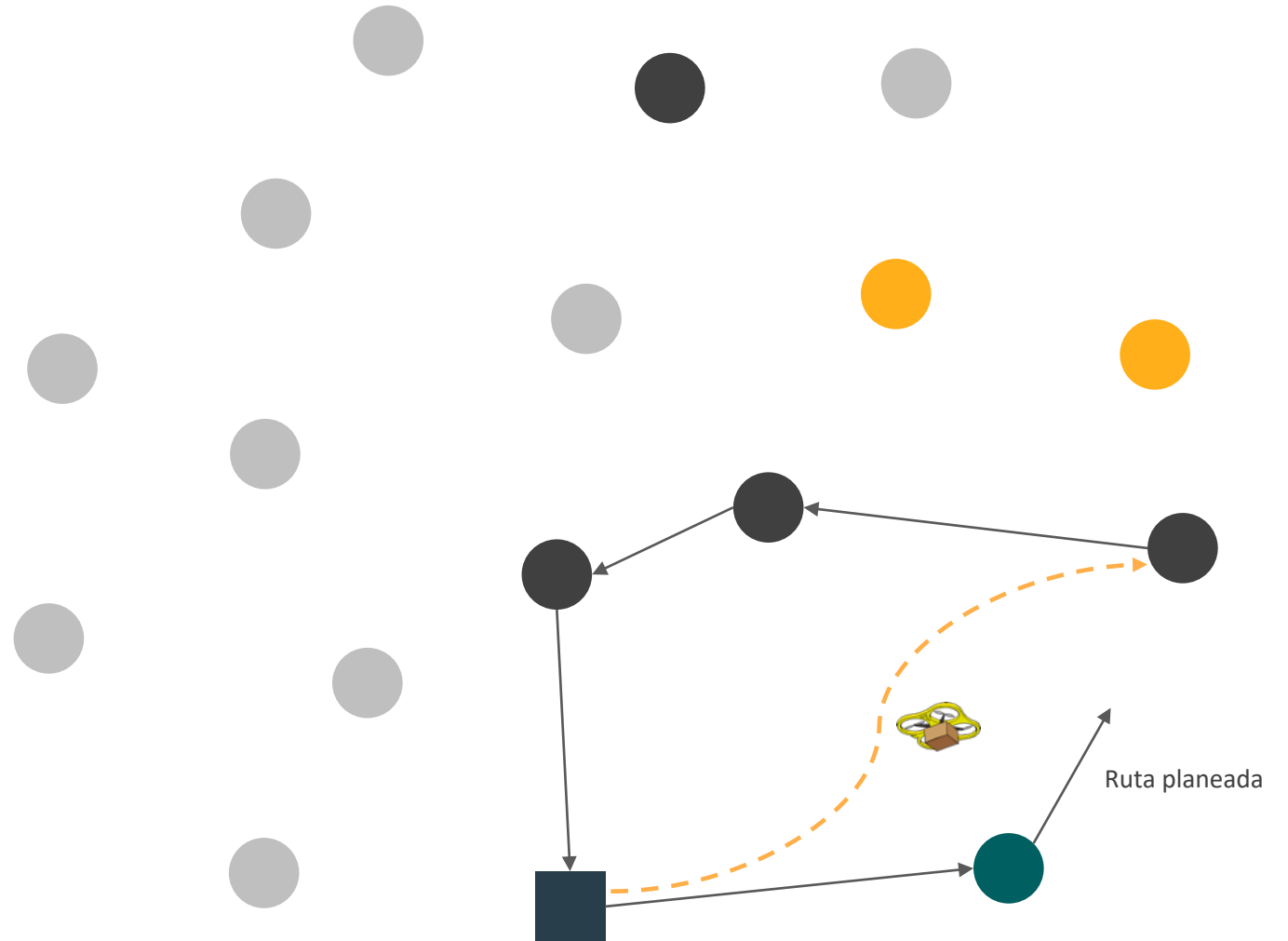


MOTIVACIÓN

- Distribuir un conjunto de pedidos dentro de un plazo limitado
- Los pedidos están disponibles para despacho en diferentes momentos
- Los vehículos solo pueden entregar aquellos pedidos cargados al comienzo de sus viajes
- Usar drones para reabastecer a los vehículos mientras están en ruta

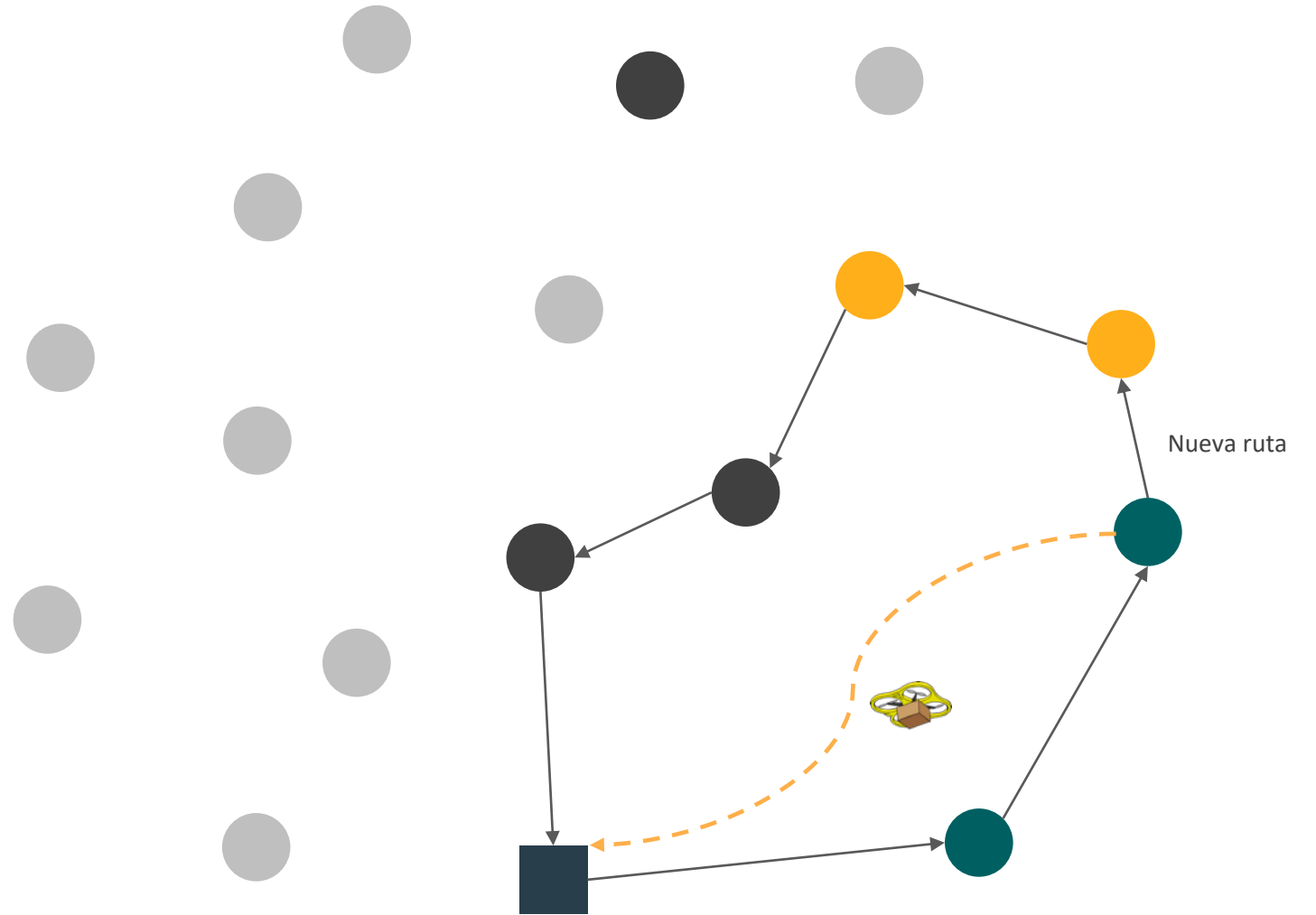
¿CÓMO FUNCIONA ESTE NUEVO SISTEMA?

- Pedidos que ya llegaron al depósito ●
- Clientes atendidos hasta el momento ●
- Nuevos pedidos disponibles ●
- Pedidos enviados por el dron ●



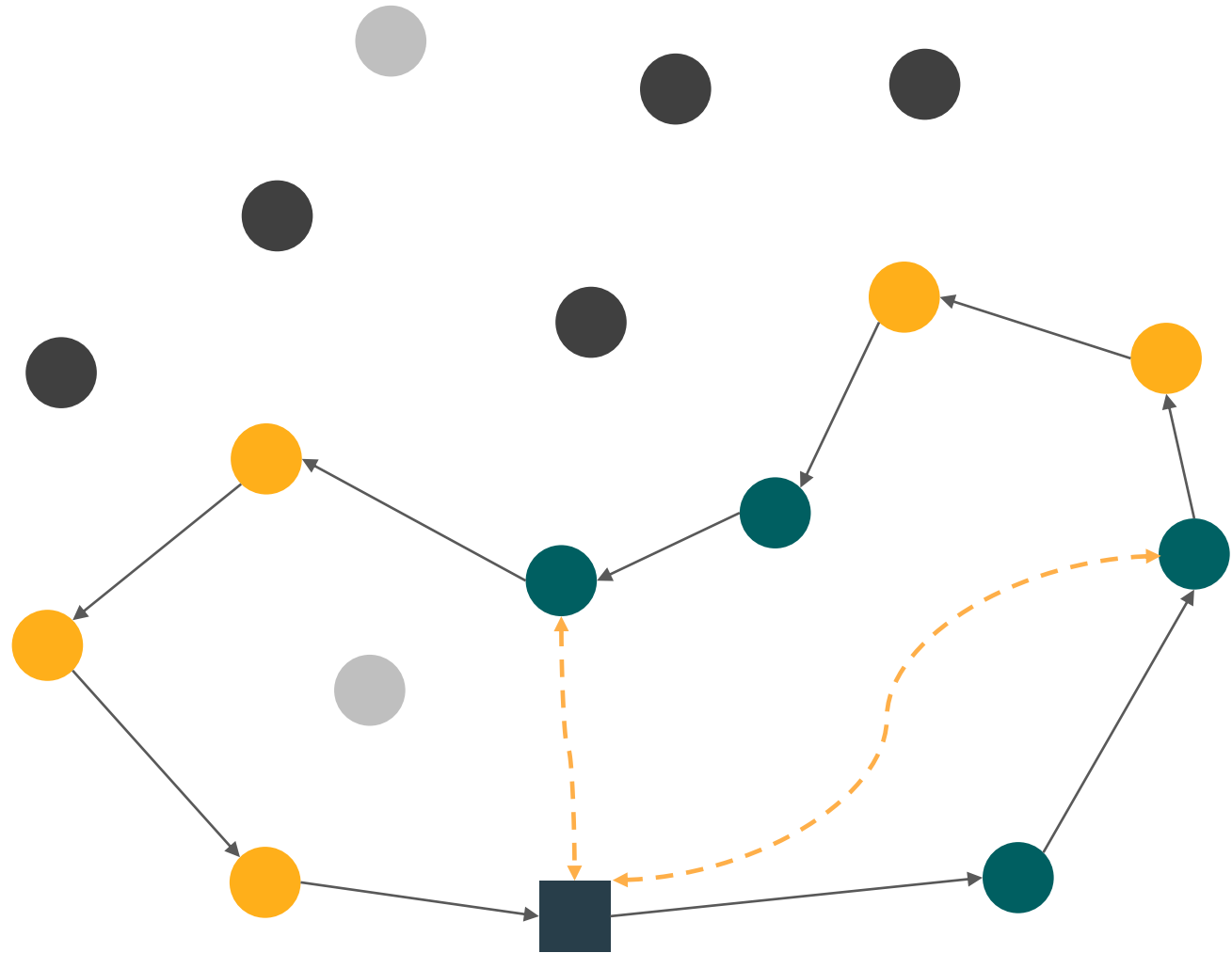
¿CÓMO FUNCIONA ESTE NUEVO SISTEMA?

- Pedidos que ya llegaron al depósito ●
- Clientes atendidos hasta el momento ●
- Nuevos pedidos disponibles ●
- Pedidos enviados por el dron ●



¿CÓMO FUNCIONA ESTE NUEVO SISTEMA?

- Pedidos que ya llegaron al depósito ●
- Clientes atendidos hasta el momento ●
- Nuevos pedidos disponibles ●
- Pedidos enviados por el dron ●



CONCEPTOS CLAVES ABORDADOS

RELEASE DATES

Momento cuando los pedidos están disponibles para despacho

Cattaruzza et al. (2016)

Archetti, Feillet y Speranza (2015)

DEADLINE

Selección de los clientes que serán visitados

Feillet, Dejax y Gendreau (2005)

Laporte y Martello (1990)

Balas (1989)

ENTREGAS CON DRONES

Uso de drones en distribución

Murray y Chu (2015)

Otto et al. (2018)

REABASTECIMIENTO DE DRONES

Uso de drones para reabastecimiento

Dayarian et al. (2018)

McCunney y Van Cauwenberghe (2019)

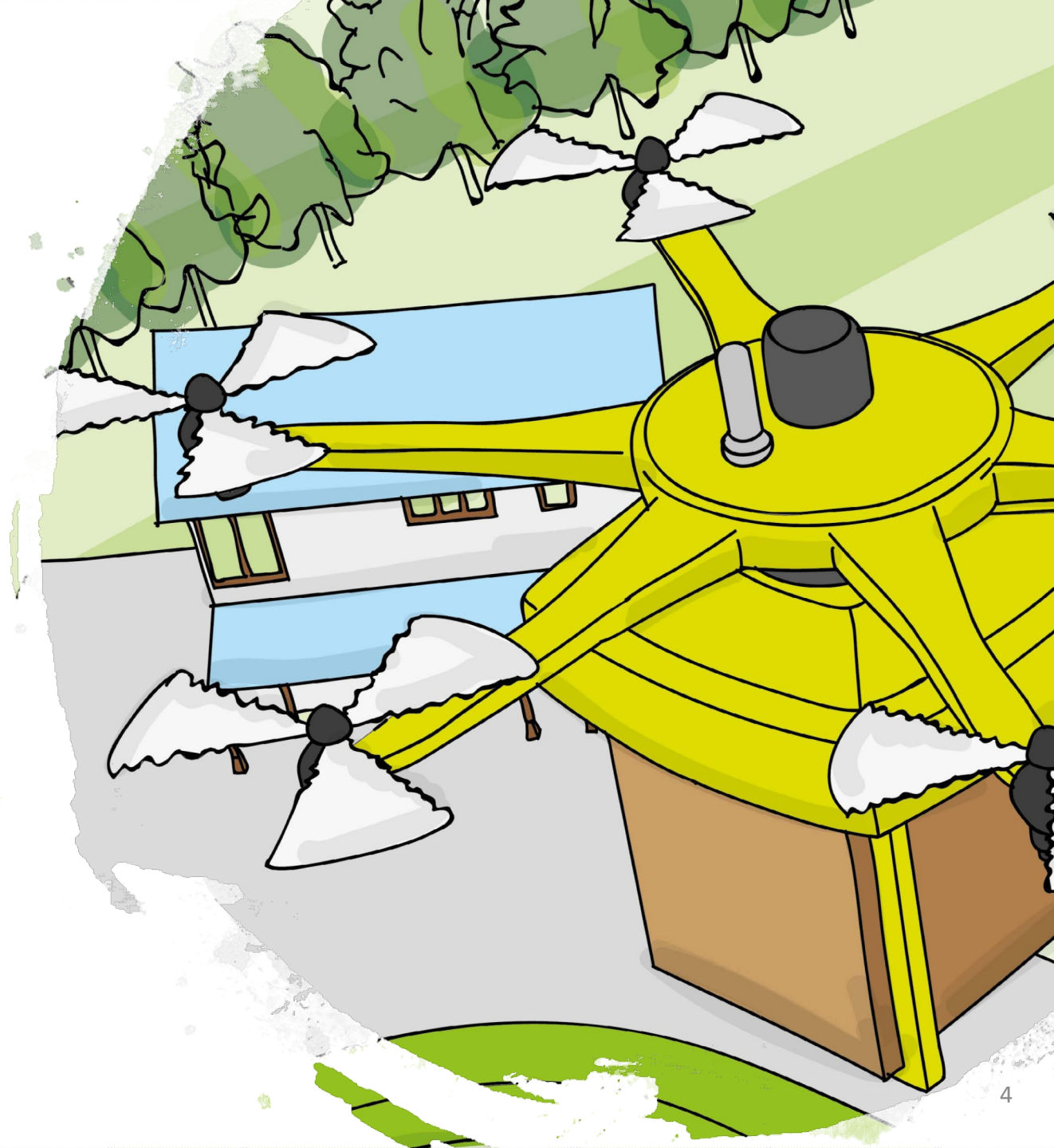


PROBLEMA ESTUDIADO

Encontrar una ruta para un único camión, sincronizada con los reabastecimientos del dron, que minimice los costos de distribución y las penalizaciones incurridas por no realizar entregas.

SUPUESTOS Y CONSIDERACIONES:

- **Un camión y un dron:**
 - Dron tiene una cierta autonomía y capacidad
 - Camión es no-capacitado
- **Determinístico:**
 - Momento en que cada pedido estará disponible para despacho es conocido de antemano





MODELO DE PLEM

PARAMETROS:

Tiempo máximo para distribución

Fechas de lanzamiento de los pedidos

Tiempos de viaje para ambos vehículos

Costo por tiempo de espera del conductor por el dron

Tiempo para descargar pedidos desde el dron

Costos de transporte y penalización

Capacidad y autonomía del dron

Costo fijo por cada uso del dron



MODELO DE PLEM

VARIABLES:

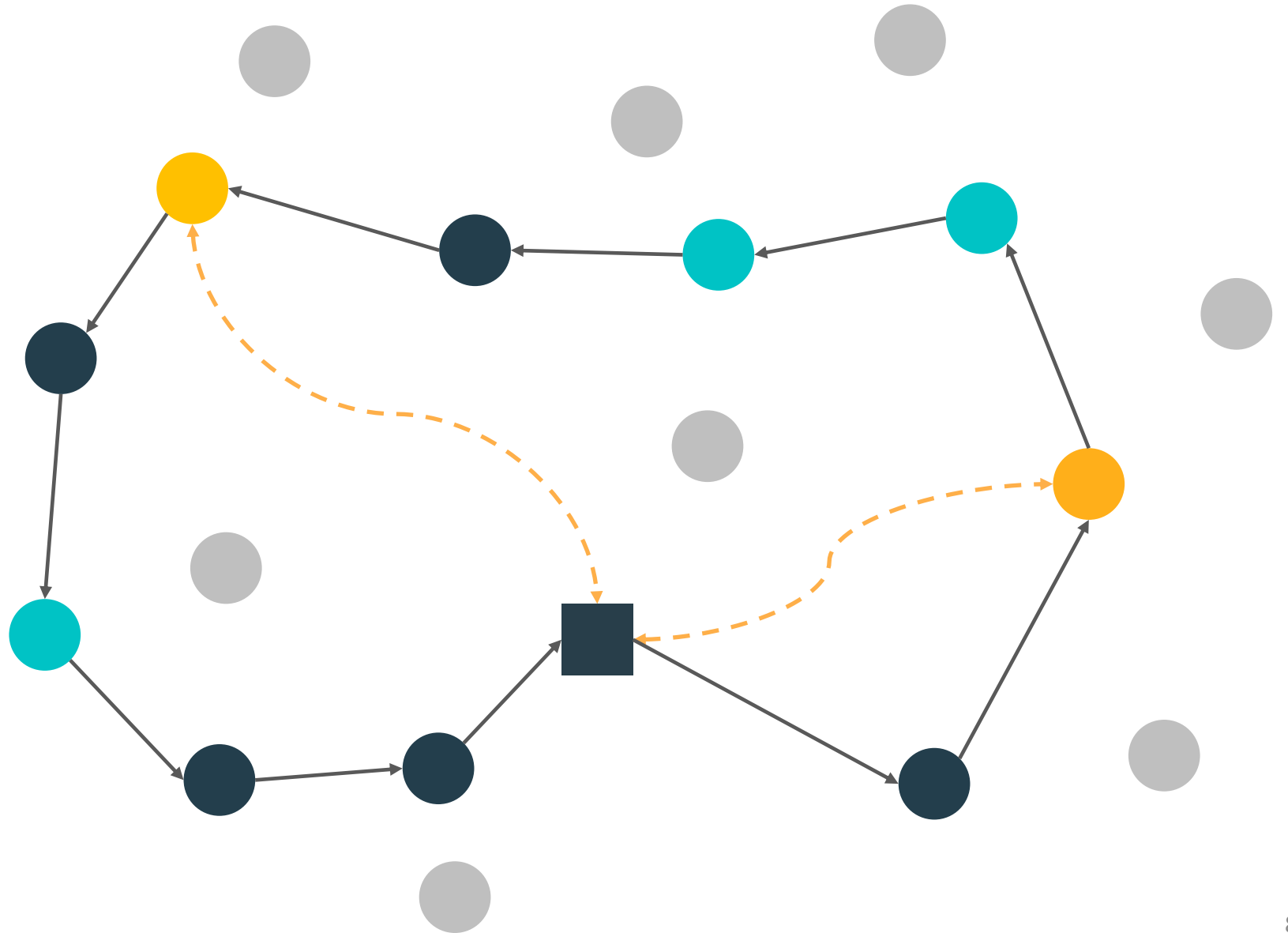
- x_{ij} : 1, si el camión visita al nodo j inmediatamente después del nodo i . 0, en otro caso.
- z_i : 1, si el camión visita al cliente i . 0, en otro caso.
- r_{ij} : 1, si el dron vuela al nodo j después del nodo i . 0, en otro caso.
- u_i : 1, si el dron vuela al nodo i para reabastecer al camión. 0, en otro caso.
- y_{ij} : 1, si el pedido del cliente j es cargado en el camión en el nodo i . 0, en otro caso.
- T_i : Tiempo cuando el camión abandona el nodo i .
- s_i : Tiempo cuando el dron vuela al nodo i .
- ϵ_i : Tiempo de detención del camión en el nodo i .

FUNCIÓN OBJETIVO

$$\min \underbrace{\sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij}}_{\text{COSTO DE TRANSPORTE}} + \underbrace{\sum_{i \in N} h \cdot \epsilon_i}_{\text{COSTO POR DETENCIONES DEL CAMIÓN}} + \underbrace{\sum_{i \in N} f \cdot u_i}_{\text{COSTO POR USOS DEL DRON}} + \underbrace{\sum_{i \in N} p(1 - z_i)}_{\text{PENALIZACIÓN POR NO REALIZAR ENTREGAS}}$$

RESTRICCIONES

- Cientes no visitados ●
- Pedidos enviados por el dron ●
- Nodos visitados por el dron ●



RESTRICCIONES

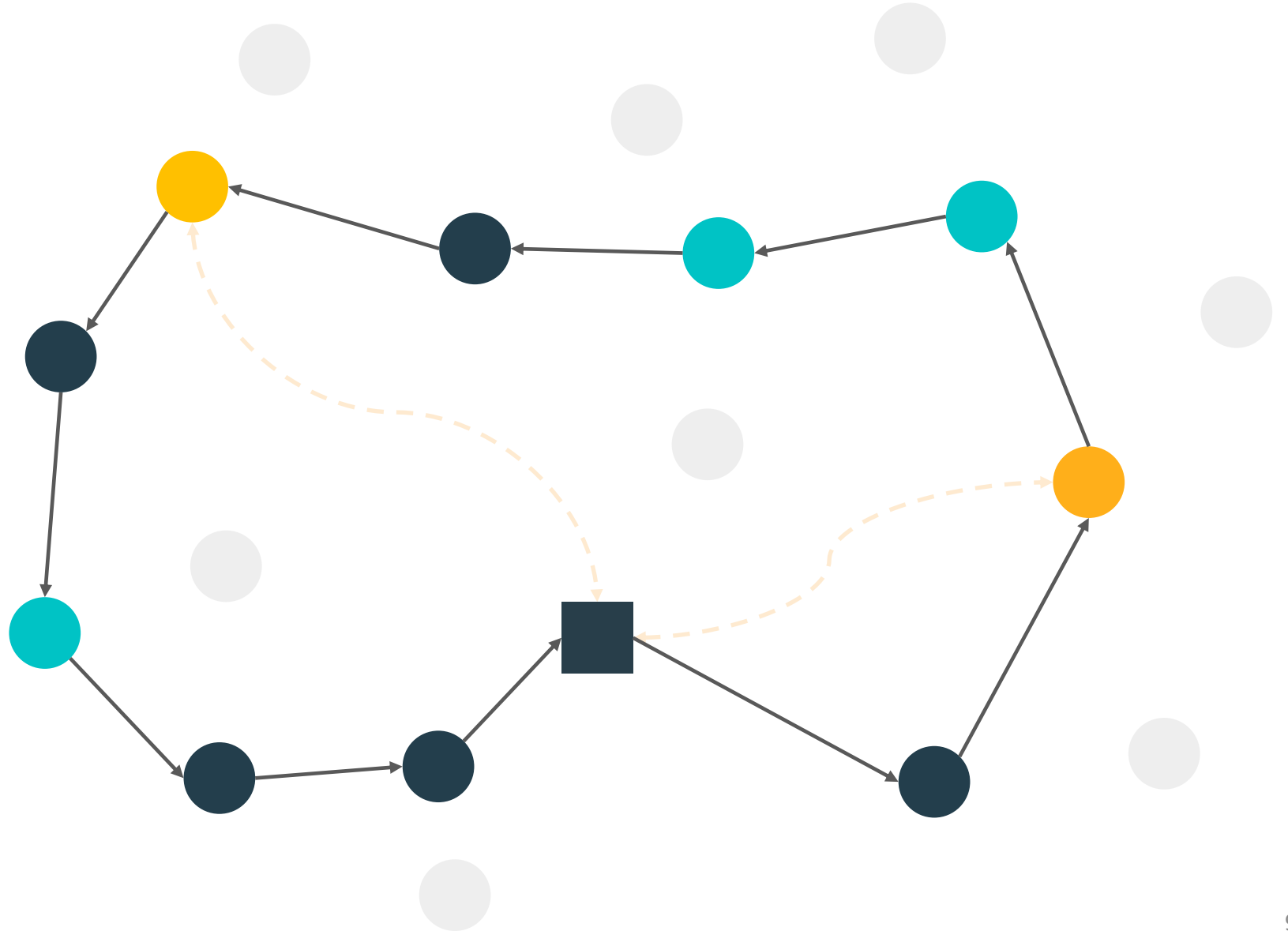
1

RUTA DEL CAMIÓN:

Balance

Elección y secuencia

Límite de tiempo



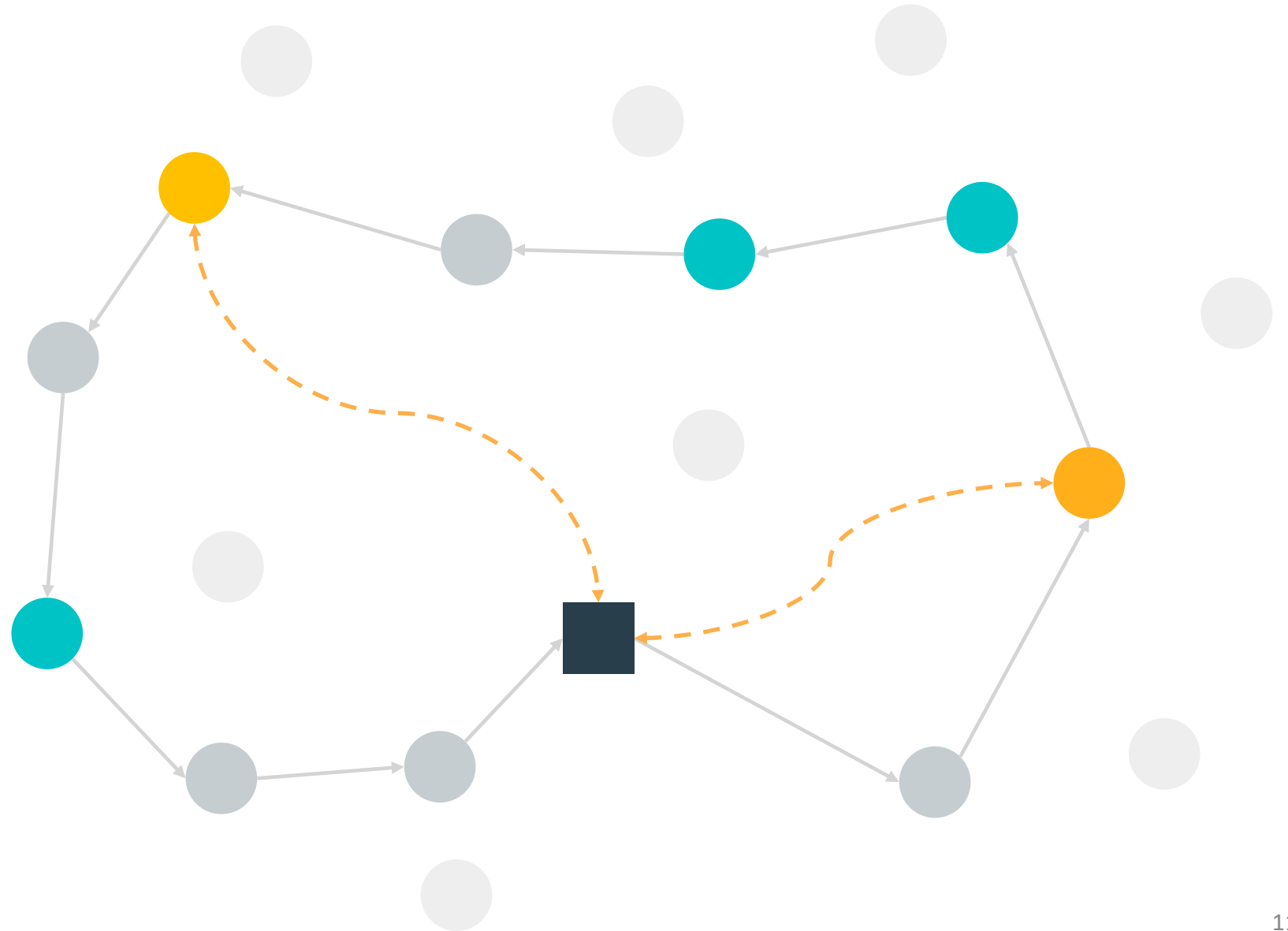
RESTRICCIONES

3

REABASTECIMIENTOS:

Elección de pedidos

Capacidad de carga



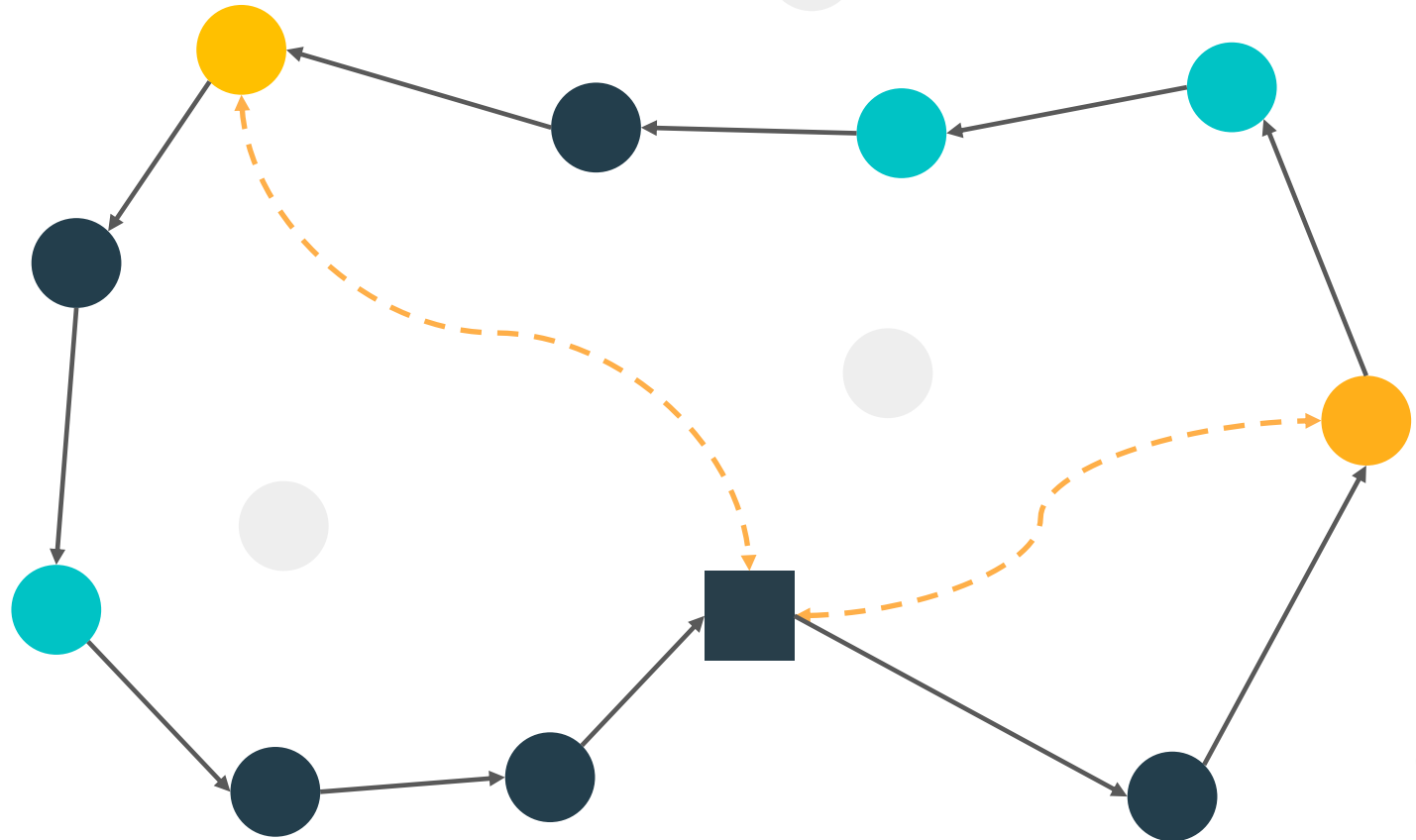
RESTRICCIONES

4

TIEMPOS:

Restricciones de tiempo MTZ

Sincronización de las rutas

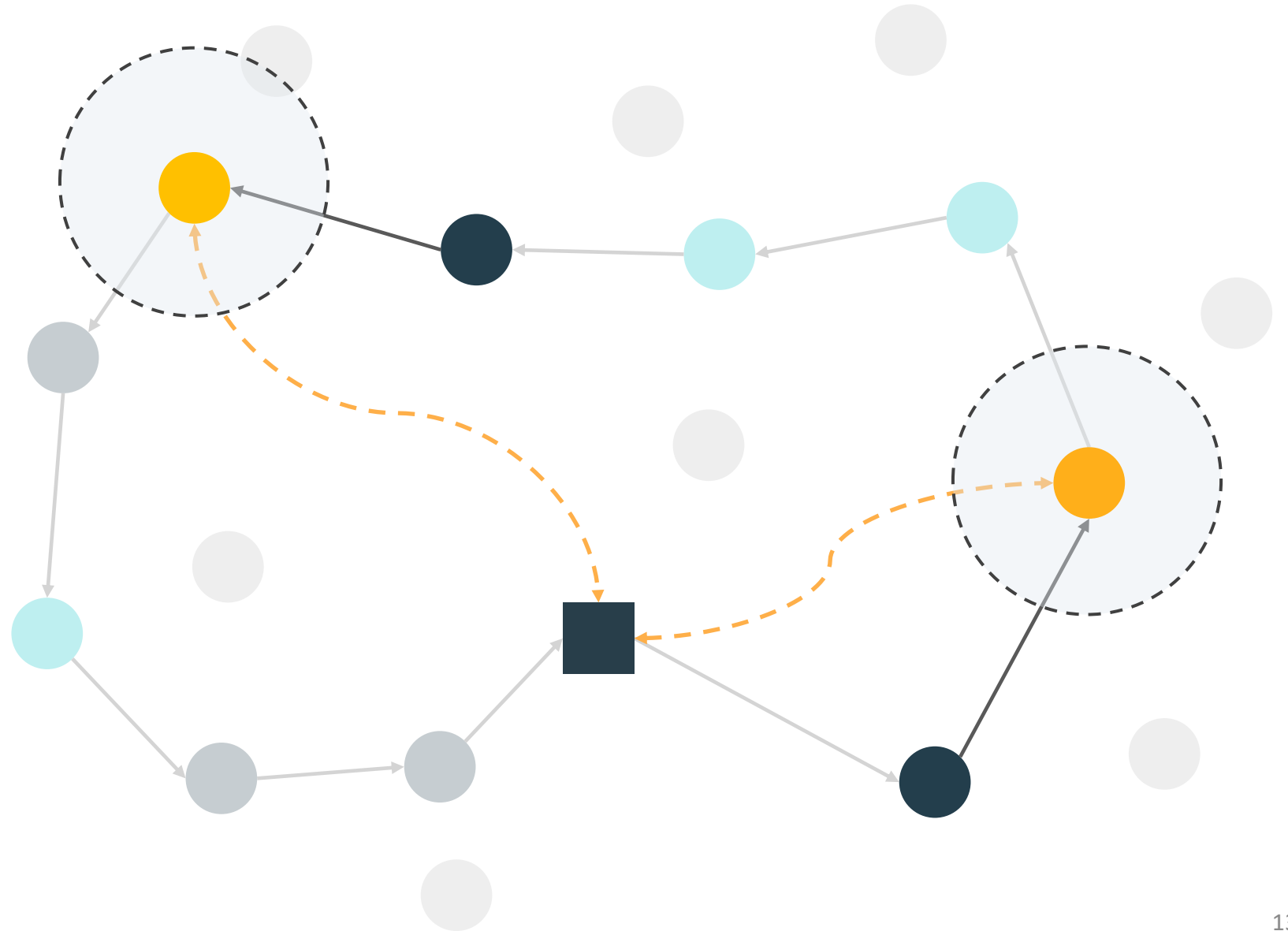


RESTRICCIONES

5

TIEMPOS DE ESPERA:

Cálculo de los tiempos de espera del conductor en cada nodo





EXPERIMENTOS COMPUTACIONALES

- Uso de CPLEX 12.8 para resolver instancias del problema
- Intel(R) Xeon(R) Gold 5118 CPU @2.30 GHz (12 núcleos) con 64 GB RAM



GENERACIÓN DE INSTANCIAS

15 [km]



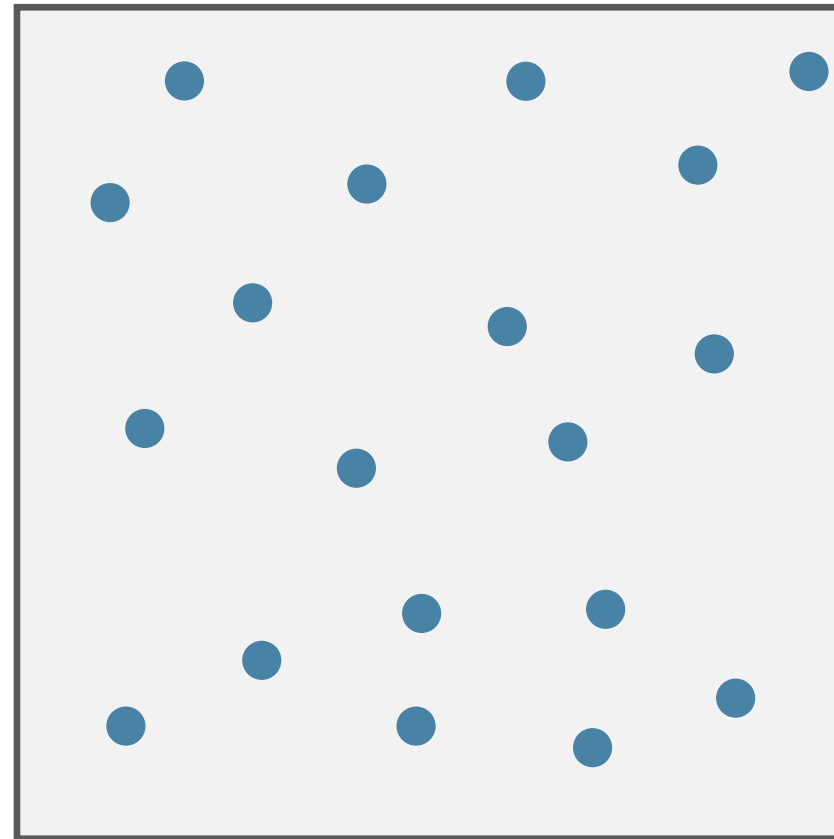
15 [km]





GENERACIÓN DE INSTANCIAS

15 [km]



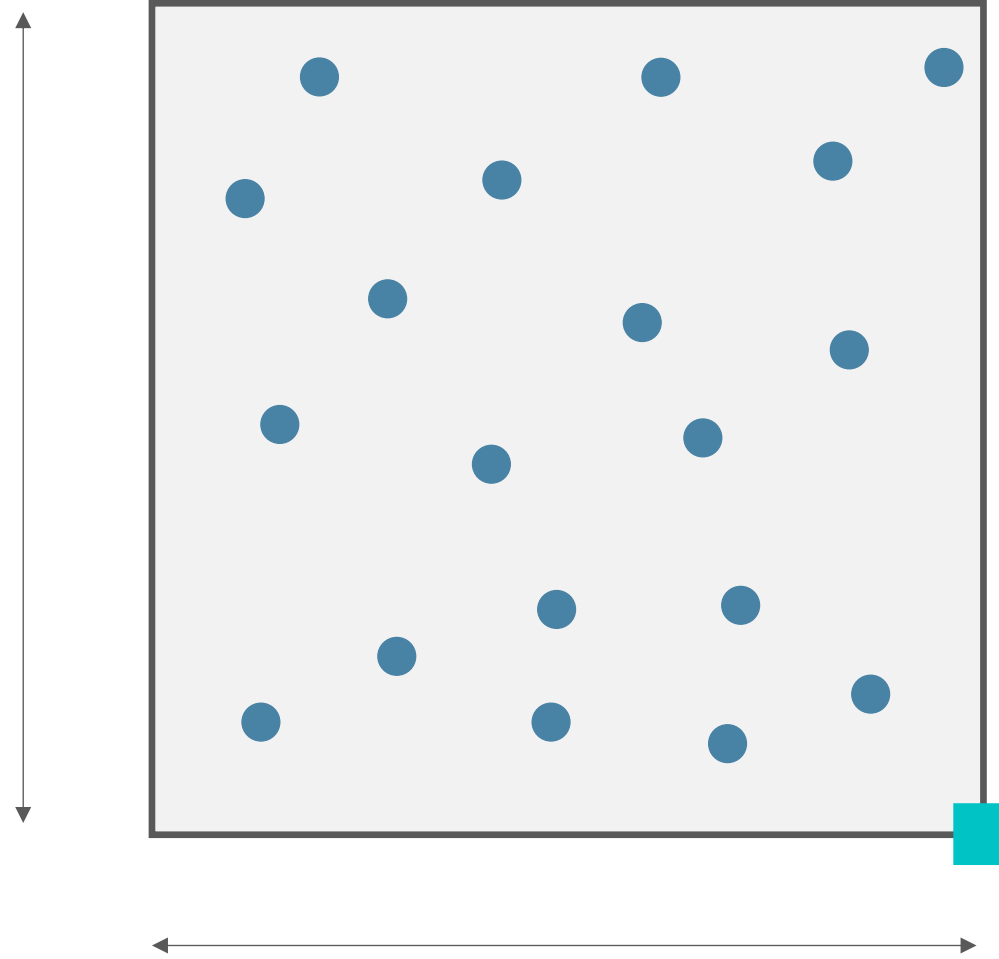
15 [km]





GENERACIÓN DE INSTANCIAS

15 [km]

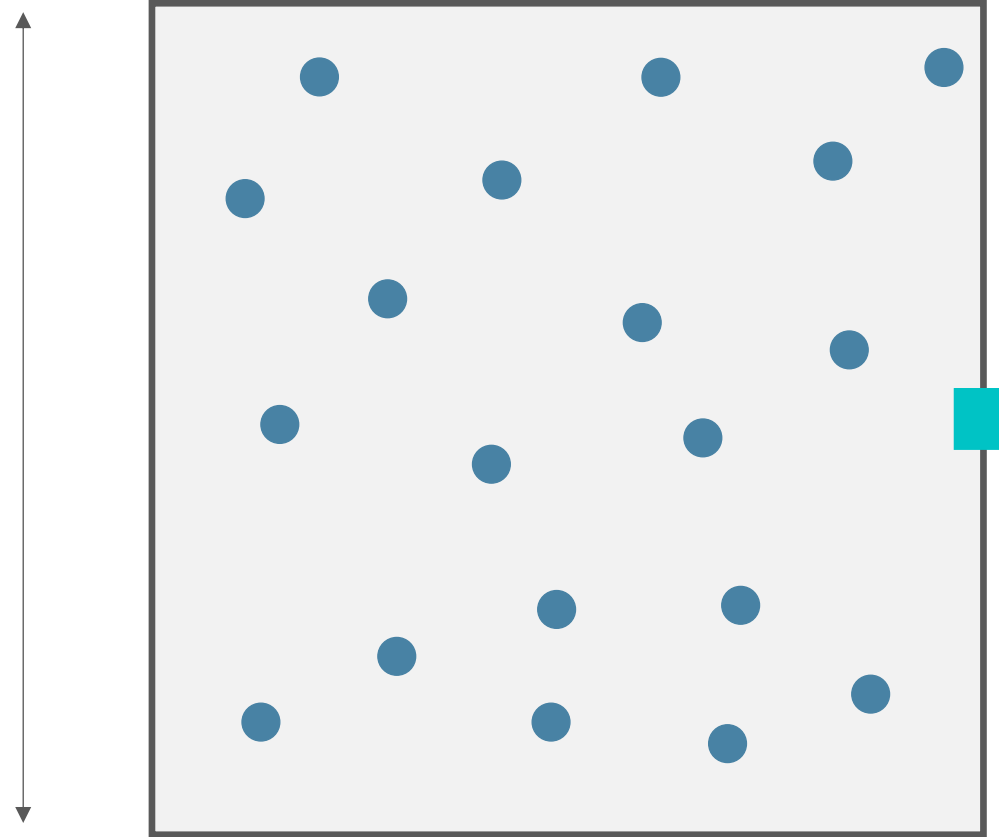


15 [km]



GENERACIÓN DE INSTANCIAS

15 [km]



15 [km]



GENERACIÓN DE INSTANCIAS

- 90 instancias generadas aleatoriamente de 10, 20 y 30 clientes (30 para cada tamaño)
- Las entregas se pueden realizar entre las 8 AM y las 6 PM
- Pedidos aceptados hasta las 4 PM
- Todos los pedidos tienen el mismo peso y tamaño
- **Camión:** Velocidad de 30 km/hr y distancias Manhattan
- **Dron:** Velocidad de 60 km/hr y distancias Euclidianas
- **Dron:** Autonomía de 30 minutos y capacidad de carga de 4 pedidos

RESULTADOS COMPUTACIONALES

Promedio de los resultados alcanzados considerando un tiempo de ejecución de 30 minutos.

Layout	n	CPU (s)	Costo	GAP	Fill-rate	Dron	Pedidos
Derecha	10	0.15	60.58	0.00%	100.00%	0.03	0.03
	20	99.82	82.65	0.01%	100.00%	0.70	1.53
	30	904.44	151.79	2.24%	98.22%	1.23	3.63
Esquina	10	0.17	64.13	0.00%	100.00%	0.07	0.10
	20	115.54	88.04	0.00%	100.00%	0.83	1.87
	30	1226.00	241.26	4.53%	96.33%	1.13	3.23

RESULTADOS COMPUTACIONALES

Promedio de los resultados alcanzados considerando un tiempo de ejecución de 30 minutos.

Layout	n	CPU (s)	Costo	GAP	Fill-rate	Dron	Pedidos
Derecha	10	0.15	60.58	0.00%	100.00%	0.03	0.03
	20	99.82	82.65	0.01%	100.00%	0.70	1.53
	30	904.44	151.79	2.24%	98.22%	1.23	3.63
Esquina	10	0.17	64.13	0.00%	100.00%	0.07	0.10
	20	115.54	88.04	0.00%	100.00%	0.83	1.87
	30	1226.00	241.26	4.53%	96.33%	1.13	3.23

RESULTADOS COMPUTACIONALES

Promedio de los resultados alcanzados considerando un tiempo de ejecución de 30 minutos.

Layout	n	CPU (s)	Costo	GAP	Fill-rate	Dron	Pedidos
Derecha	10	0.15	60.58	0.00%	100.00%	0.03	0.03
	20	99.82	82.65	0.01%	100.00%	0.70	1.53
	30	904.44	151.79	2.24%	98.22%	1.23	3.63
Esquina	10	0.17	64.13	0.00%	100.00%	0.07	0.10
	20	115.54	88.04	0.00%	100.00%	0.83	1.87
	30	1226.00	241.26	4.53%	96.33%	1.13	3.23

RESULTADOS COMPUTACIONALES

Promedio de los resultados alcanzados considerando un tiempo de ejecución de 30 minutos.

Layout	n	CPU (s)	Costo	GAP	Fill-rate	Dron	Pedidos
Derecha	10	0.15	60.58	0.00%	100.00%	0.03	0.03
	20	99.82	82.65	0.01%	100.00%	0.70	1.53
	30	904.44	151.79	2.24%	98.22%	1.23	3.63
Esquina	10	0.17	64.13	0.00%	100.00%	0.07	0.10
	20	115.54	88.04	0.00%	100.00%	0.83	1.87
	30	1226.00	241.26	4.53%	96.33%	1.13	3.23

RESULTADOS COMPUTACIONALES

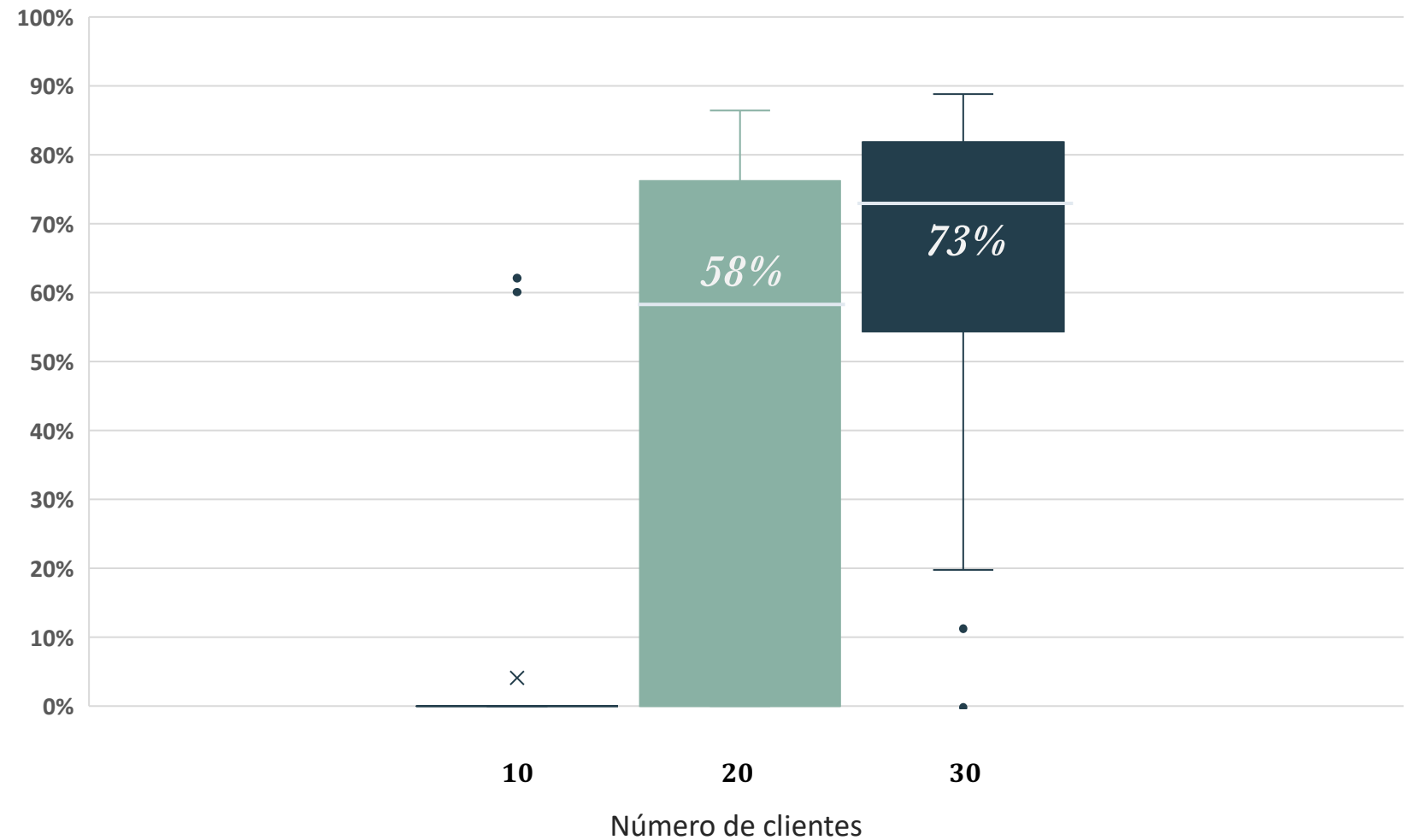
Promedio de los resultados alcanzados considerando un tiempo de ejecución de 30 minutos.

Layout	n	CPU (s)	Costo	GAP	Fill-rate	Dron	Pedidos
Derecha	10	0.15	60.58	0.00%	100.00%	0.03	0.03
	20	99.82	82.65	0.01%	100.00%	0.70	1.53
	30	904.44	151.79	2.24%	98.22%	1.23	3.63
Esquina	10	0.17	64.13	0.00%	100.00%	0.07	0.10
	20	115.54	88.04	0.00%	100.00%	0.83	1.87
	30	1226.00	241.26	4.53%	96.33%	1.13	3.23

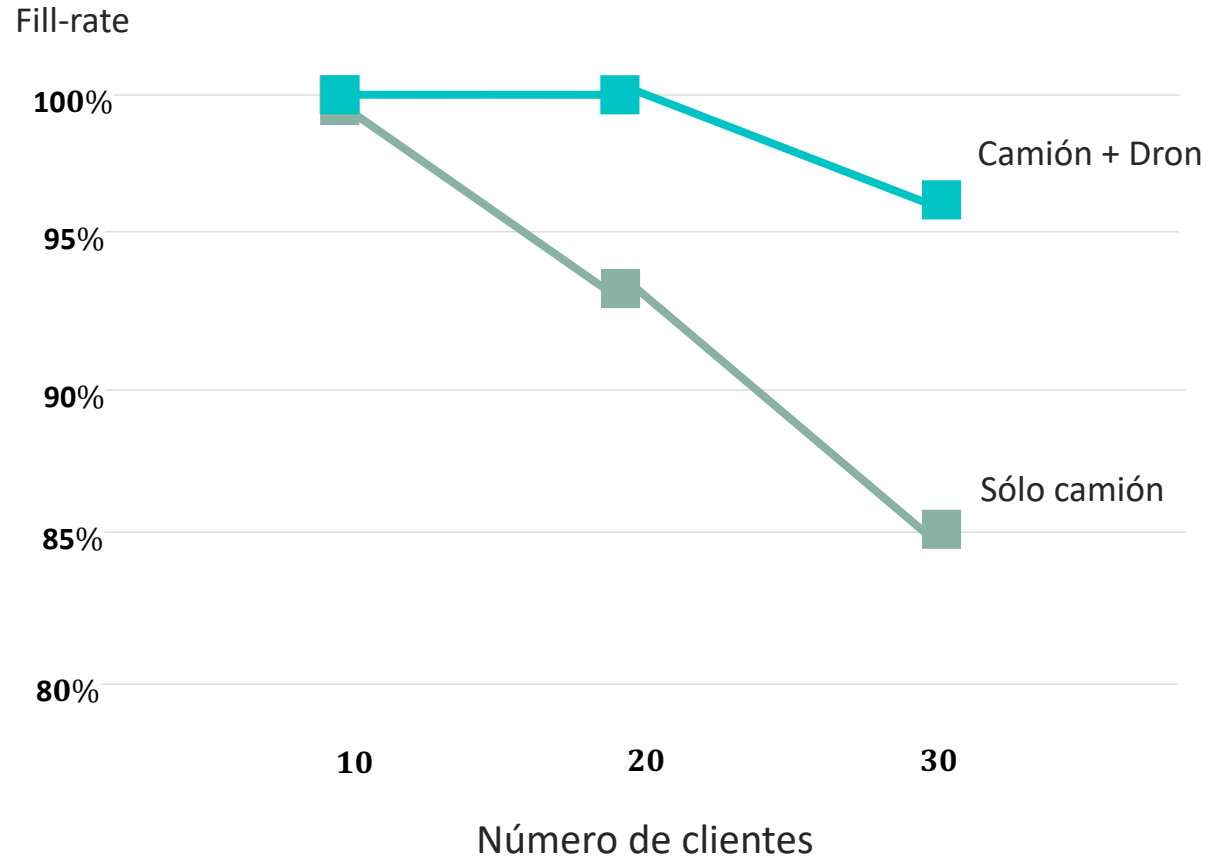
BENEFICIOS DE USAR DRONES PARA REABASTECIMIENTO

COMPARACIÓN CON
UN SISTEMA DE
ENTREGA USANDO
SÓLO UN CAMIÓN

Ahorro en costos



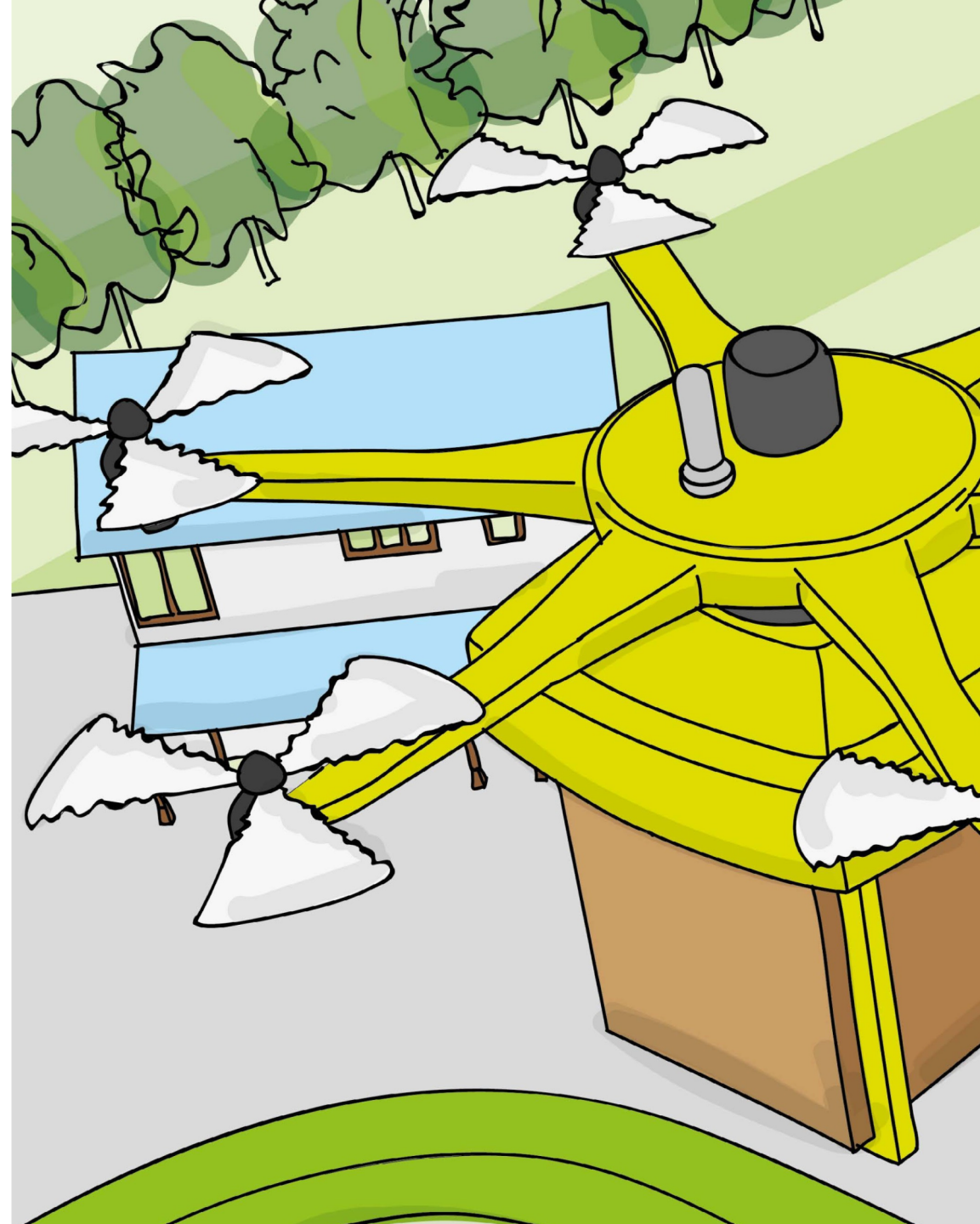
BENEFICIOS DE USAR DRONES PARA REABASTECIMIENTO



FILL RATE

CONCLUSIONES

- El uso de drones para reabastecimiento puede reducir los costos de distribución y aumentar la cantidad de clientes atendidos
- El modelo proporciona buenos GAPs después de unos minutos
- Extensiones del problema incluyen considerar una flota de camiones y drones, múltiples depósitos y diferentes capacidades de carga
- Heurísticas pueden proponerse para resolver instancias de mayor tamaño



EL PROBLEMA DEL VENDEDOR VIAJERO SELECTIVO CON REABASTECIMIENTOS DE DRON

Esta investigación fue parcialmente financiada por **Toyota** Material Handling North America a través de su Programa de Investigación Universitaria

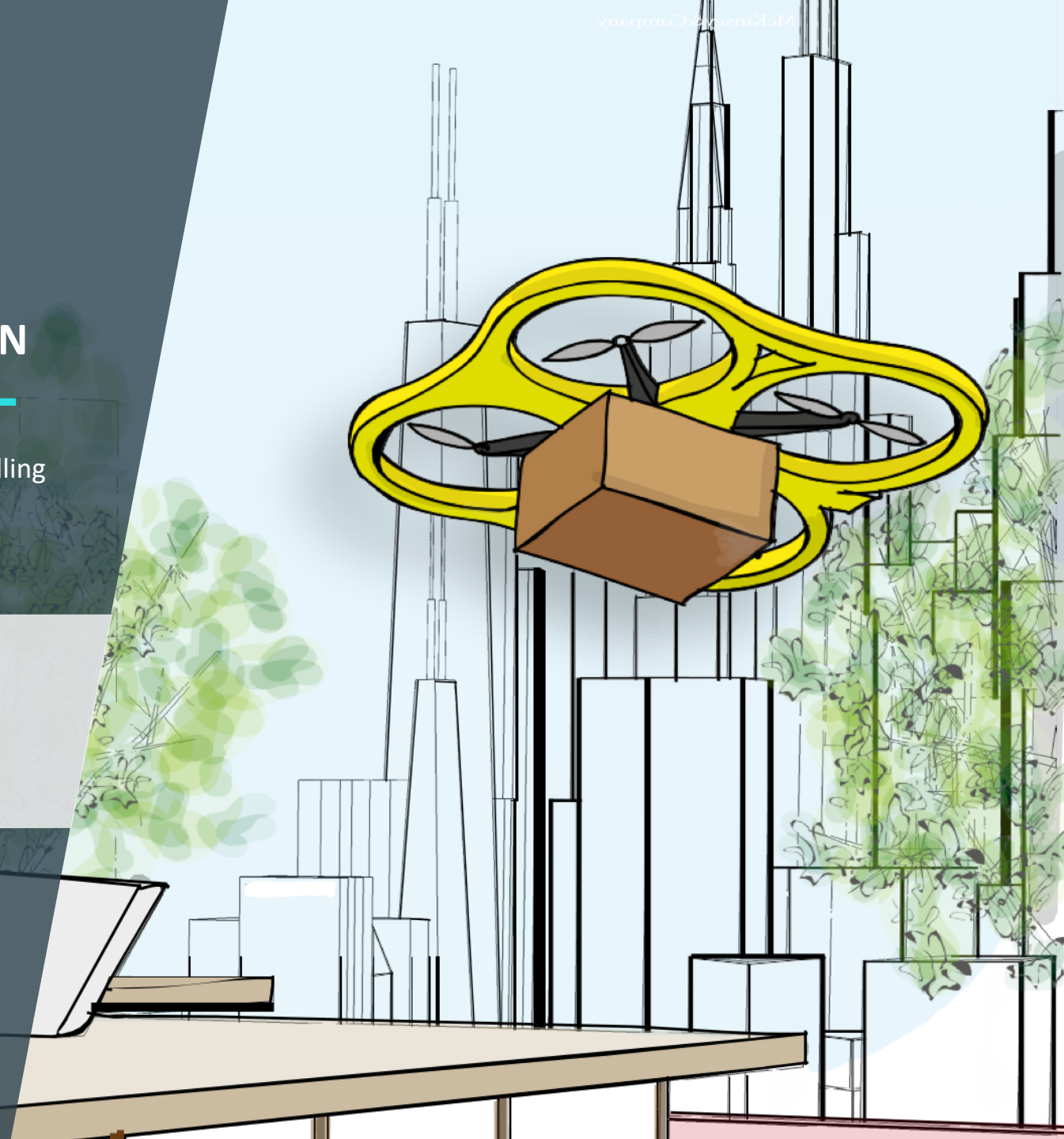
JUAN C. PINA-PARDO¹, DANIEL F. SILVA², ALICE E. SMITH²

¹ Escuela de Ingeniería Industrial, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile

² Departamento de Ingeniería Industrial y Sistemas, Auburn University, USA

Todas las imágenes fueron recuperadas de:

Joers, M., Schroder, J., Neuhauss, F., Klink, C. y Mann, F. (2016). Parcel delivery: The future of last mile. Travel, Transport and logistic: Mckinsey & Company. Publicado online en URL: <https://mck.co/2n4sABU>



BENEFICIOS DE USAR DRONES PARA REABASTECIMIENTO

Table 2: Comparison between the new delivery system and a delivery system using a truck only.

n	Full MIP Model				Truck Only Model			
	CPU	Cost	GAP	Fill-rate	CPU	Cost	GAP	Fill-rate
10	0.17	64.13	0.00%	100.00%	8.70	72.07	0.00%	99.33%
20	115.54	88.04	0.00%	100.00%	1269.53	260.62	7.90%	93.00%
30	1226.00	241.26	4.53%	96.33%	1747.81	657.70	18.96%	85.33%