

# CLI-Workshop. Sesión Especial en Logística Portuaria



**escuelaingenieríaindustrial**  
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO

**Rosa Guadalupe González R.**  
**rosa.gonzalez@ucv.cl**

<http://eii.pucv.cl>



# +Agenda

1. **Introducción**
2. Operaciones logísticas portuarias
3. Puertos Chilenos: Puerto de San Antonio y Puerto Valparaíso
4. Modelos y metodologías de resolución propuestas
5. Investigación actual y futura.



- La región central de Chile concentra el 50% de la población nacional y el **60%** del producto interno bruto.
- Por los puertos de la región (**Ventanas, Valparaíso y San Antonio**), se transfiere el **60%** del comercio exterior chileno:
  - ◆ Principal **gateway nacional** y uno de los principales de la costa **Pacífico-Sur**.



# +Introducción

- Las terminales de Valparaíso y San Antonio, especializadas en carga conteneinerizada transfirieron **1.3 millones de TEU's** durante el 2009.
- **Uso eficiente de infraestructura de servicios logísticos** y transporte (puertos, carreteras y zonas de actividades logísticas).



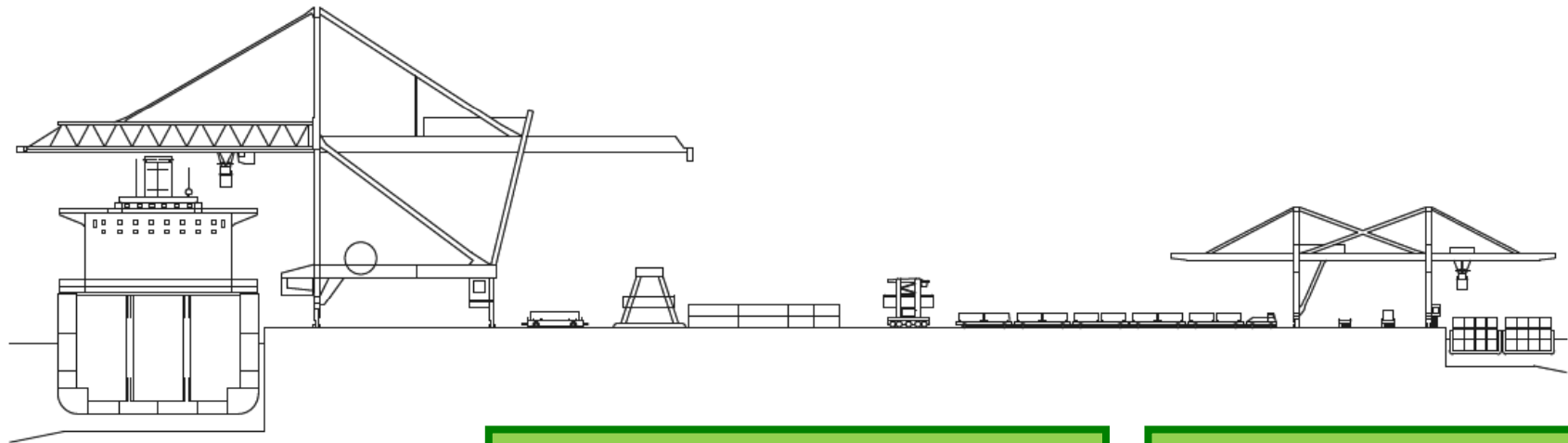


# +Agenda

1. Introducción
2. **Operaciones logísticas portuarias**
3. Puertos Chilenos: Puerto de San Antonio y Puerto Valparaíso
4. Modelos y metodologías de resolución propuestas
5. Investigación actual y futura.



## Esquema de una terminal de contenedores



### Muelle

Es el área donde se encuentran los sitios de atraque y se recibe a la nave.

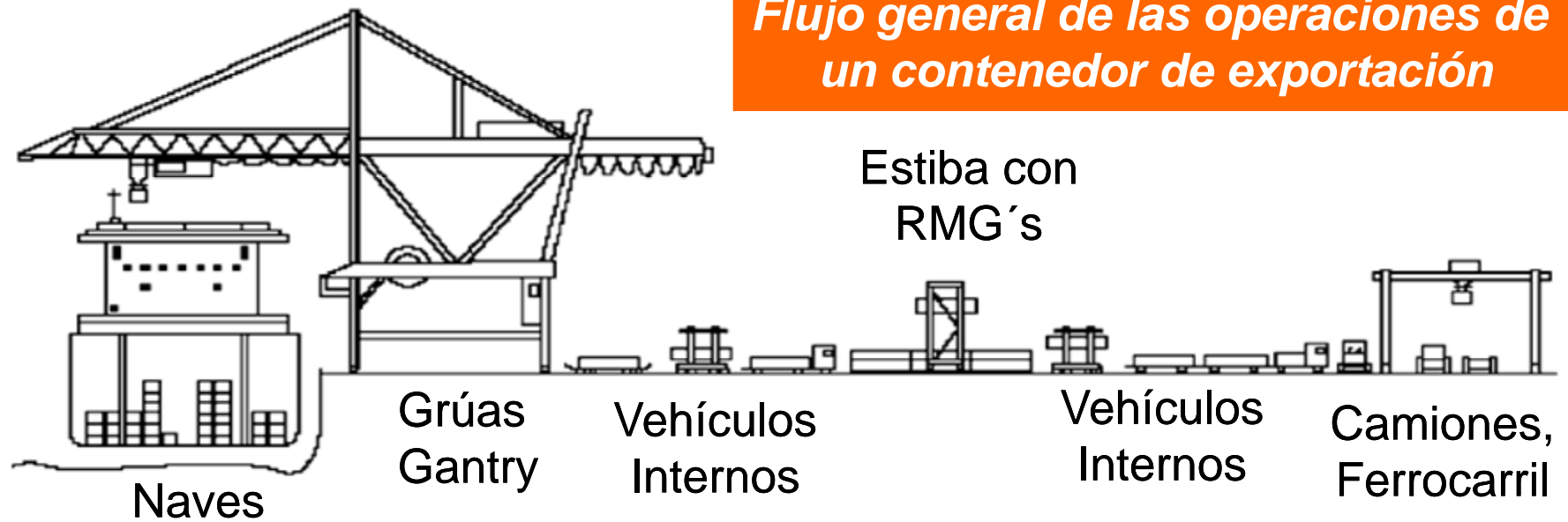
### Patio

Almacenamiento temporal de contenedores para su transferencia a naves y transportistas terrestres

### Gate

Es el área de entrada/salida de la carga, la conexión con el transporte terrestre.

## Flujo general de las operaciones de un contenedor de exportación



*Se transporta el contenedor al sitio de atraque de la nave y se realiza la estiba por medio de grúas gantry.*

*El contenedor es trasladado por el transporte interno de la terminal hacia el patio, utilizando grúas como la reachstacker o RTG.*

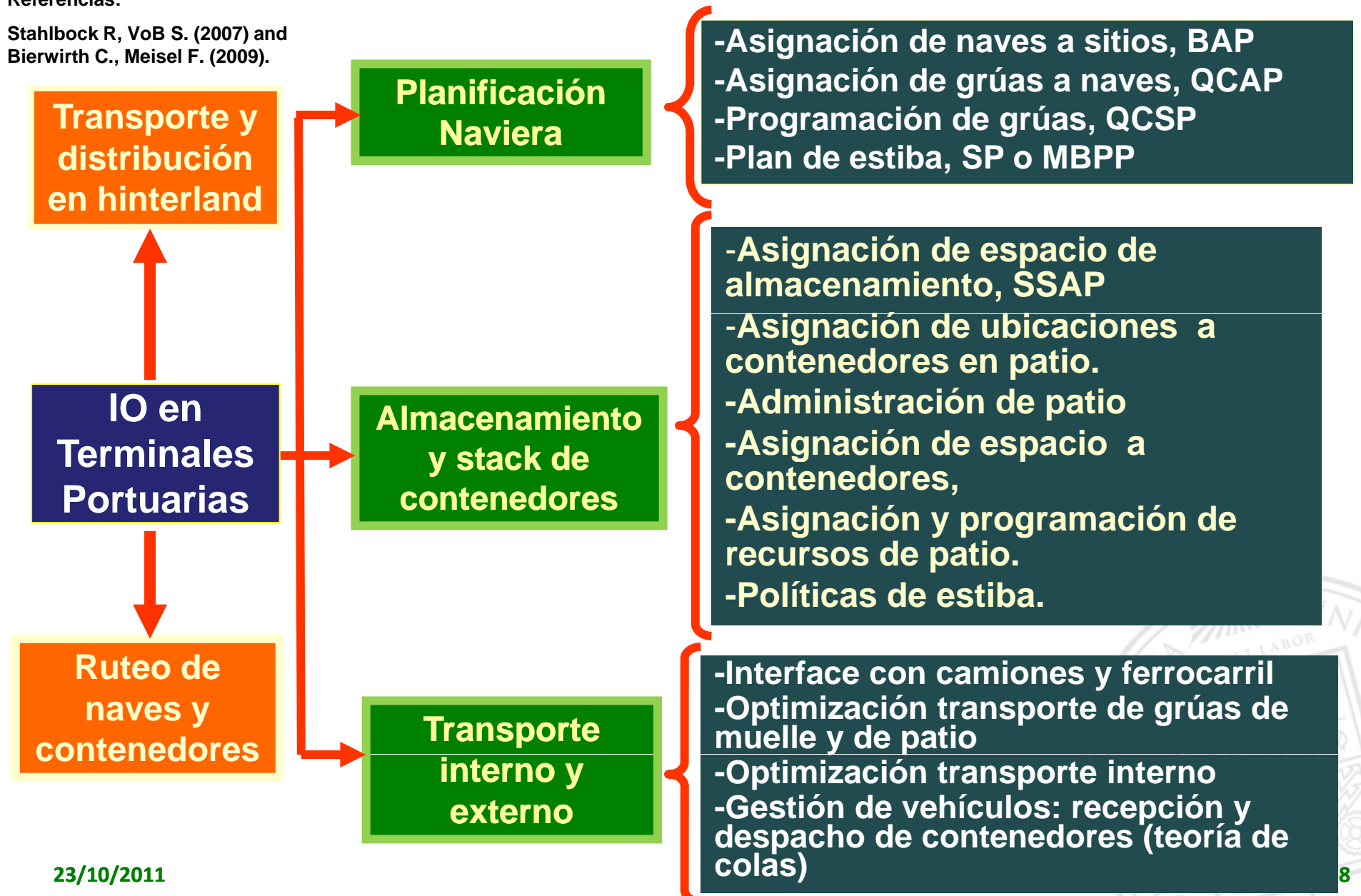
*El contenedor arriba a la terminal en tren camión externo*



# +Operaciones logísticas portuarias

## Referencias:

Stahlbock R, VoB S. (2007) and  
Bierwirth C., Meisel F. (2009).







# +Agenda



TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY.

1. Introducción
2. Operaciones logísticas portuarias
3. **Puertos Chilenos: Puerto de San Antonio y Puerto Valparaíso**
4. Modelos y metodologías de resolución propuestas para la gestión de patios
5. Investigación actual y futura.



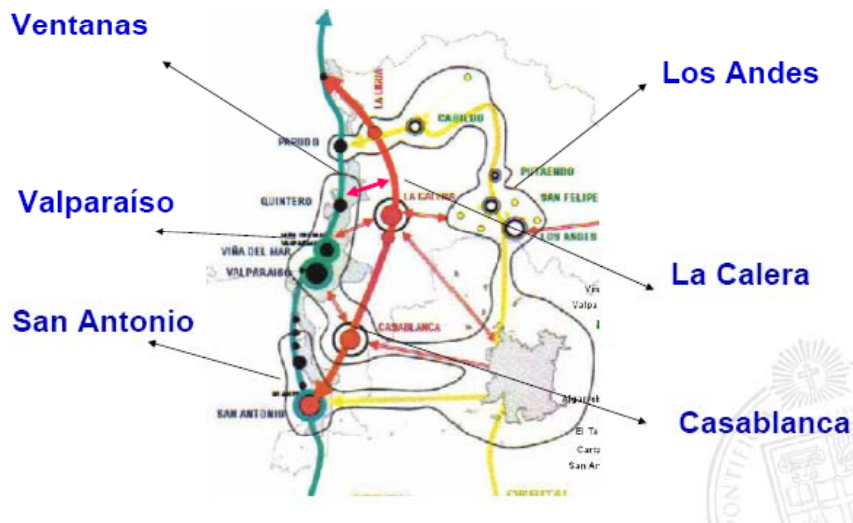


# + Puertos en Chile

- Chile es un país estructurado en **15 regiones**

- **No. Total de Puertos: 56**

- ✓ 10 Puertos Estatales de uso público
- ✓ 14 Empresas portuarias uso público
- ✓ 32 Empresas portuarias uso privado

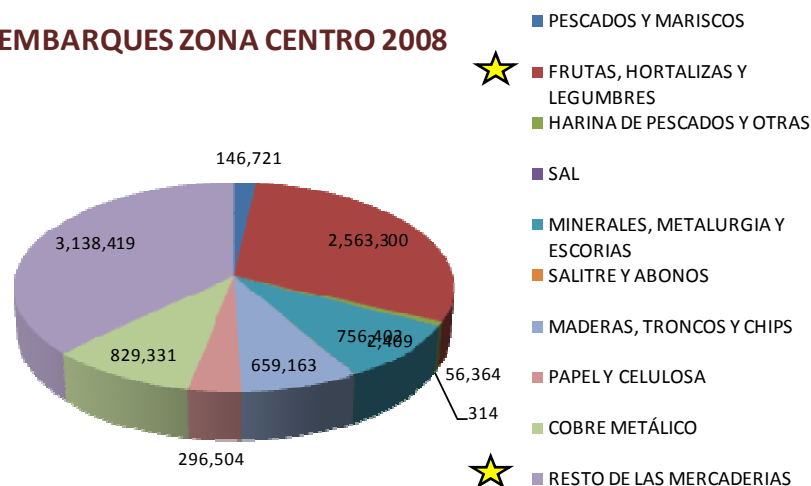




# + Estadísticas de COMEX

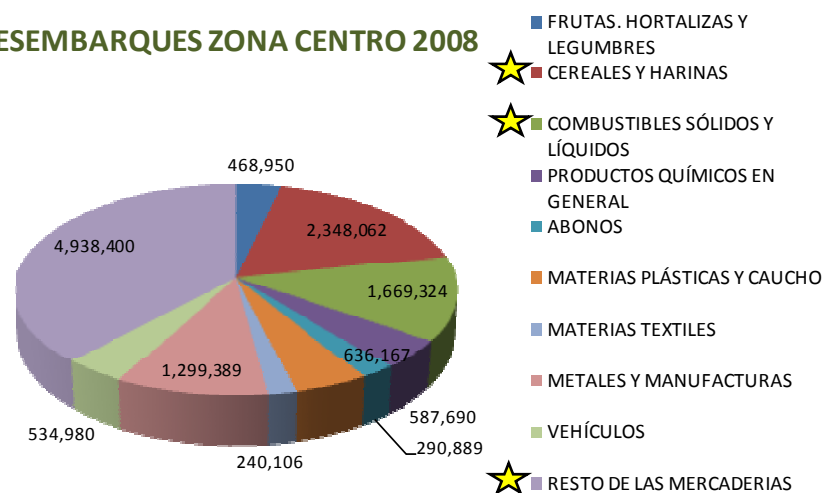
## Zona Centro

### EMBARQUES ZONA CENTRO 2008



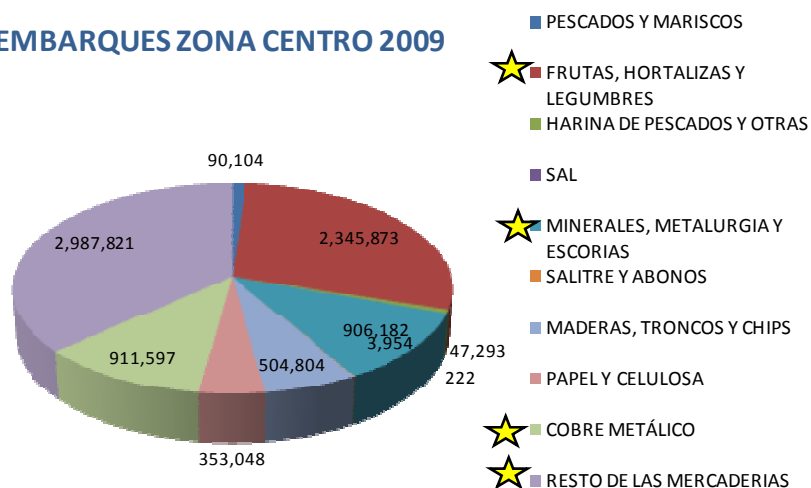
Total Toneladas Embarque : 8,448,927

### DESEMBARQUES ZONA CENTRO 2008



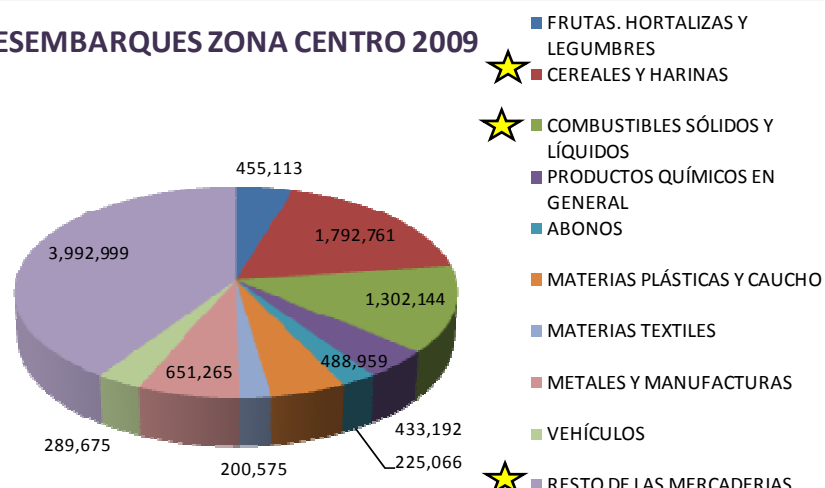
Total Toneladas Desembarque : 13,013,957

### EMBARQUES ZONA CENTRO 2009



Total Toneladas Embarque : 8,150,905

### DESEMBARQUES ZONA CENTRO 2009



Total Toneladas Desembarque : 9,831,759



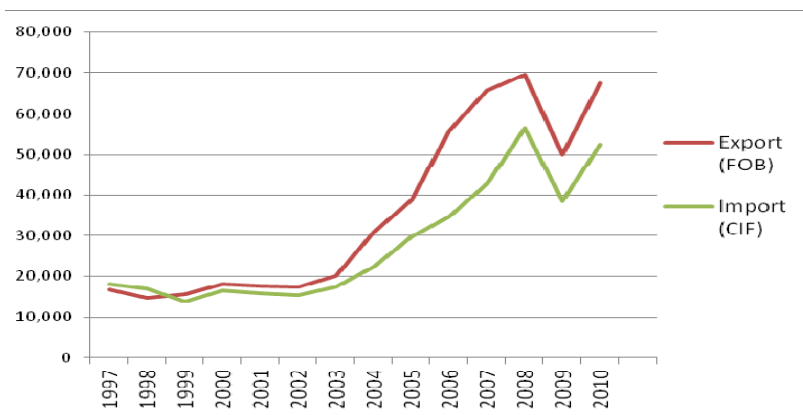
# + Participación transferencias Sistema Portuario Estatal Chileno (2009)

Carga de Comercio Exterior Movilizada por Empresas Portuarias Estatales incluyendo Concesionarios Privados  
Año 2009. Incluye Tránsitos- Excluye Cabotaje

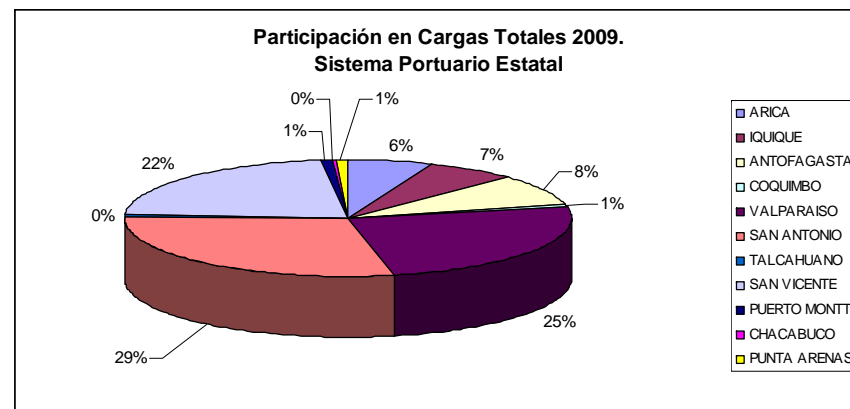
| Empresa Portuaria | Contenedores | Fraccionada | Granel    | TOTAL 2009 | % Participación |
|-------------------|--------------|-------------|-----------|------------|-----------------|
| ARICA             | 928,103      | 44,148      | 628,683   | 1,600,934  | 6.2%            |
| IQUIQUE           | 1,209,909    | 235,608     | 289,535   | 1,735,052  | 6.7%            |
| ANTOFAGASTA       | 913,625      | 458,264     | 766,990   | 2,138,879  | 8.3%            |
| COQUIMBO          | 10,648       | 187,424     | 18,934    | 217,006    | 0.8%            |
| VALPARAISO        | 5,514,868    | 646,328     | 181,164   | 6,342,360  | 24.5%           |
| SAN ANTONIO       | 5,353,321    | 751,923     | 1,342,438 | 7,447,682  | 28.8%           |
| TALCAHUANO        | 248          | 119,985     | 0         | 120,233    | 0.5%            |
| SAN VICENTE       | 3,461,383    | 193,082     | 2,078,910 | 5,733,375  | 22.2%           |
| PUERTO MONTT      | 50           | 96          | 241,452   | 241,598    | 0.9%            |
| CHACABUCO         | 0            | 0           | 35,043    | 35,043     | 0.1%            |
| PUNTA ARENAS      | 5,764        | 14,998      | 226,381   | 247,143    | 1.0%            |

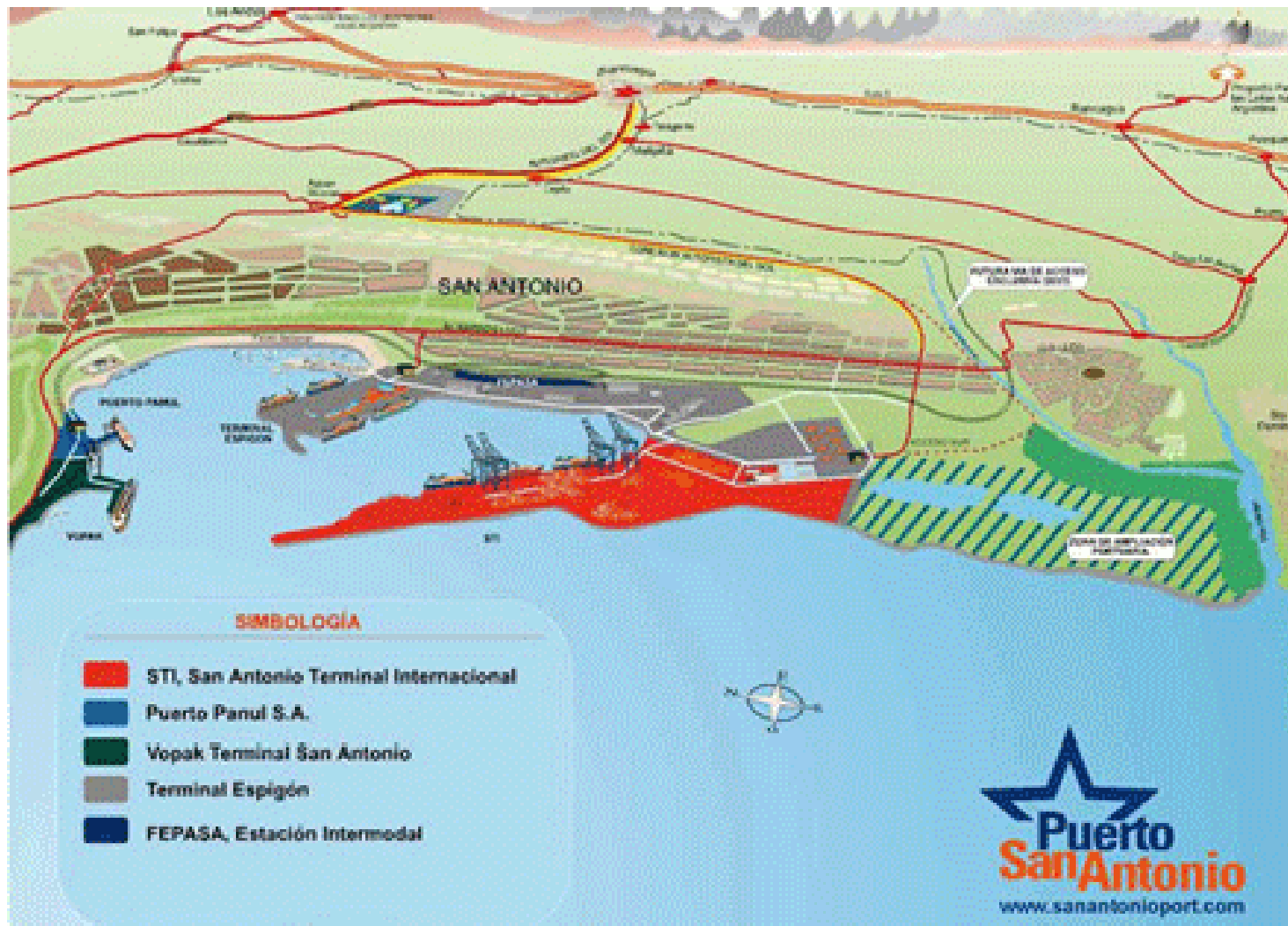
|                |                   |                  |                  |                   |
|----------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|
| <b>TOTALES</b> | <b>17,397,919</b> | <b>2,651,856</b> | <b>5,809,530</b> | <b>25,859,305</b> |
|----------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|

Nota: No incluye tara teus llenos (app 2.2 ton/teus)  
Fuente: Cámara Marítima y Portuaria de Chile A.G.



**Figure N°2.** Export and Import Value in Million US Dollars for Chile.  
Source: Legal Publishing based on National Customs, Chile.



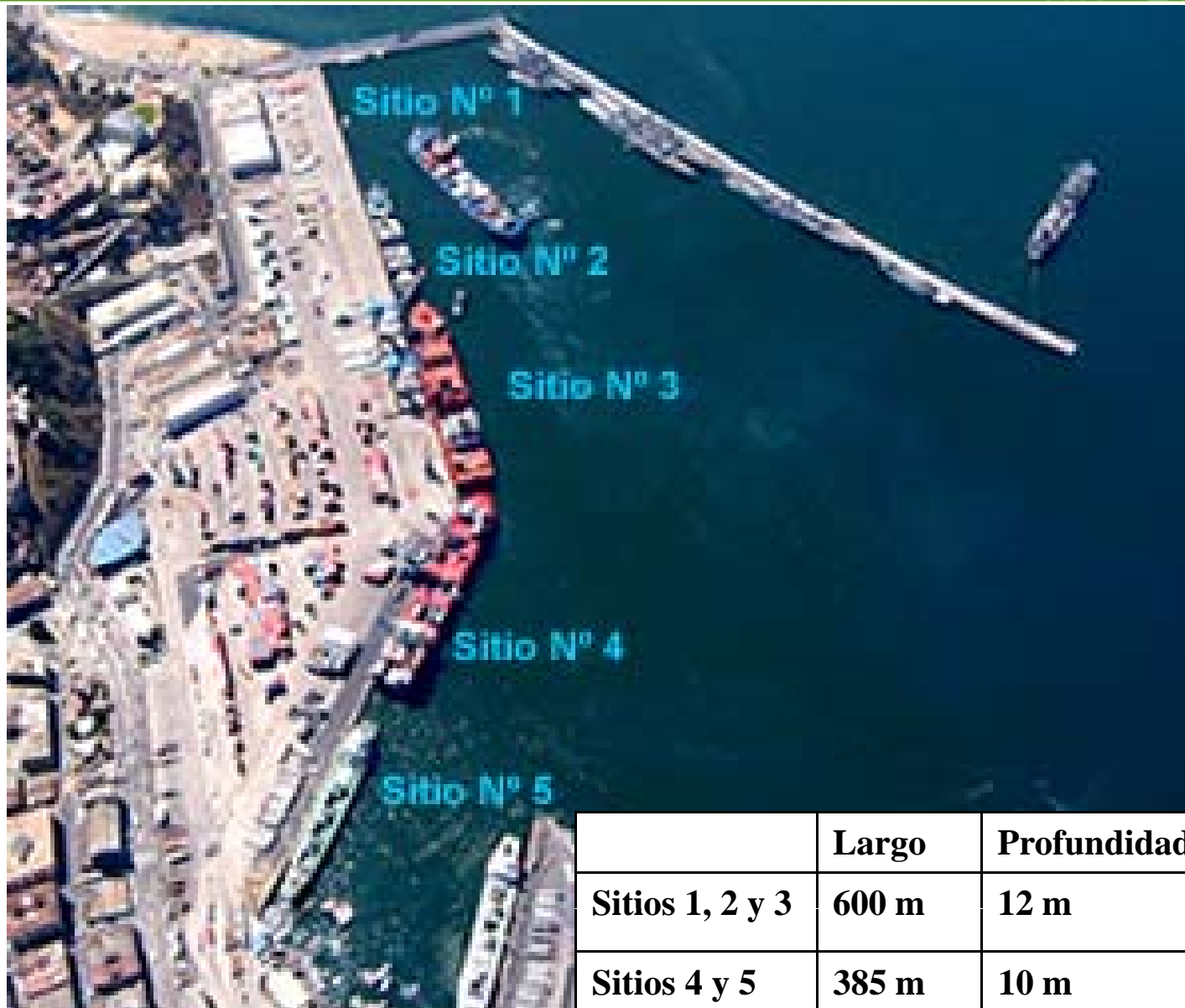


**Figura 2.** – Mapa del puerto de San Antonio. Fuente: (EPSA).



# + Puerto de Valparaíso: TPS







# +Agenda



TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY.

1. Introducción
2. Operaciones logísticas portuarias
3. Puertos Chilenos: Puerto de San Antonio y Puerto Valparaíso
4. **Modelos y metodologías de resolución propuestas para la gestión de patios**
5. Investigación actual y futura.

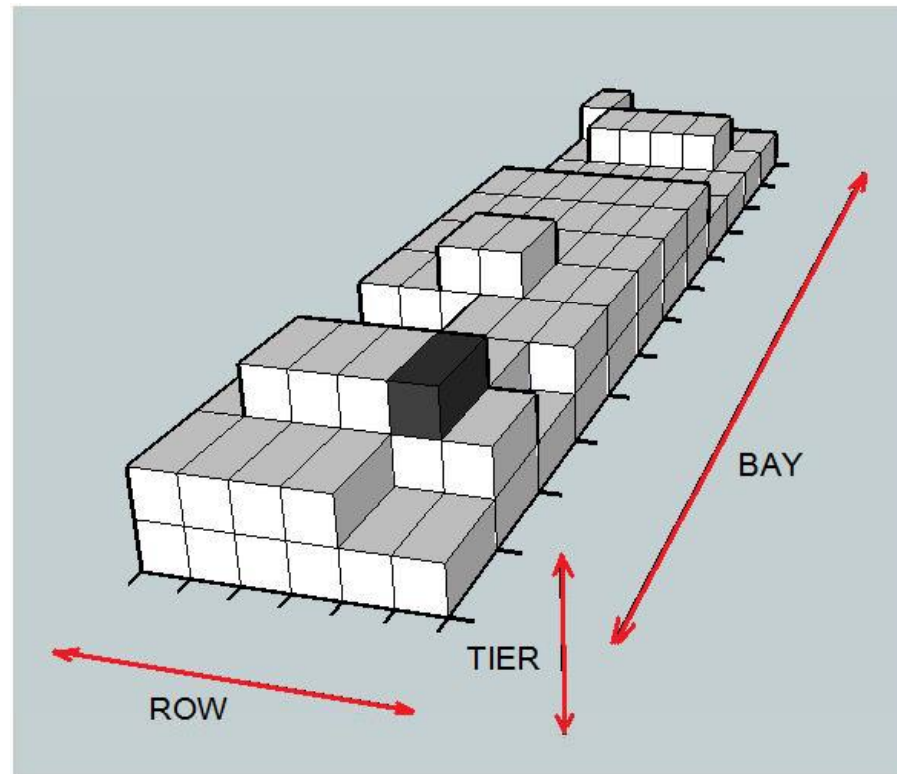






## +Planificación de Patio (YPP)

- Se asume que el patio ha sido dividido en  $J$  ubicaciones discretas (bays) con una capacidad de  $M$  unidades.



**Figura 5–** Esquema explicativo del sistema BAROTI.



## Layout patio de contenedores STI.





# +Planificación de Patio (YPP)

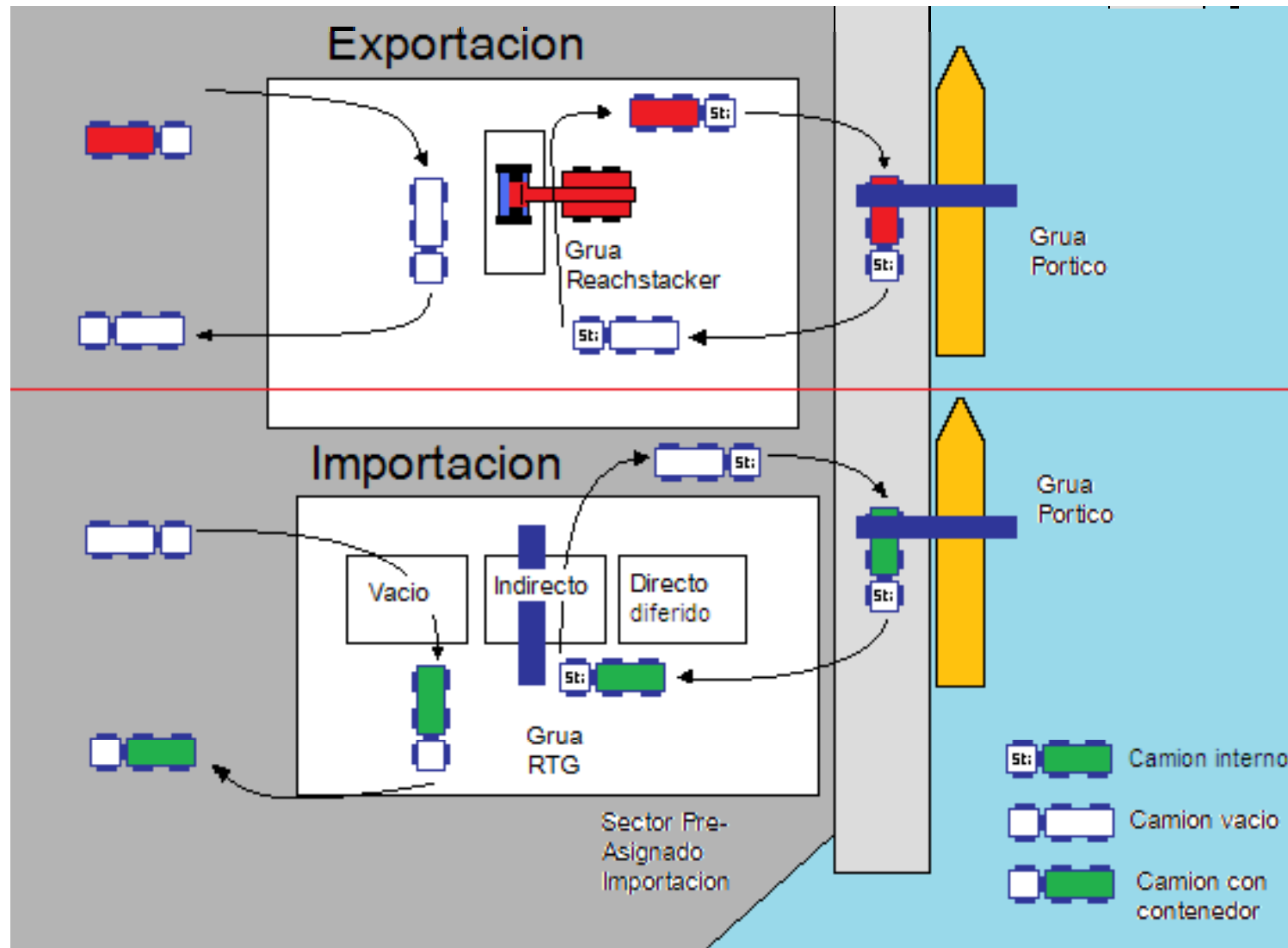
## ■ Decisiones:

Flujos de contenedores de cada tipo  $i$  ( $i = 1, \dots, I$ )  
para cada periodo  $t$  ( $t=1, \dots, T$ ) [horas]

- ◆ Desde gate  $\Rightarrow$  ubicación  $j$  del patio (**expo**).
- ◆ Desde ubicación  $j \Rightarrow$  gate (**impo**).
- ◆ Desde ubicación  $j \Rightarrow$  nave respectiva (**expo**).
- ◆ Desde nave  $\Rightarrow$  ubicación  $j$  (**impo**).
- ◆ Almacenamiento en ubicación  $j$  ( $t \rightarrow t+1$ )



# +Planificación de Patio (YPP)



**Figura 5.** Esquema de los procesos de Importación y Exportación



# +Planificación de Patio (YPP)

**Objetivo:** Minimización de costos

- ◆ Costo de mover un contenedor tipo  $i$  desde la ubicación  $j$  a la respectiva nave
- ◆ Costo de mover un contenedor del tipo  $i$  desde el muelle hacia la ubicación  $j$  del patio

**Variables:**

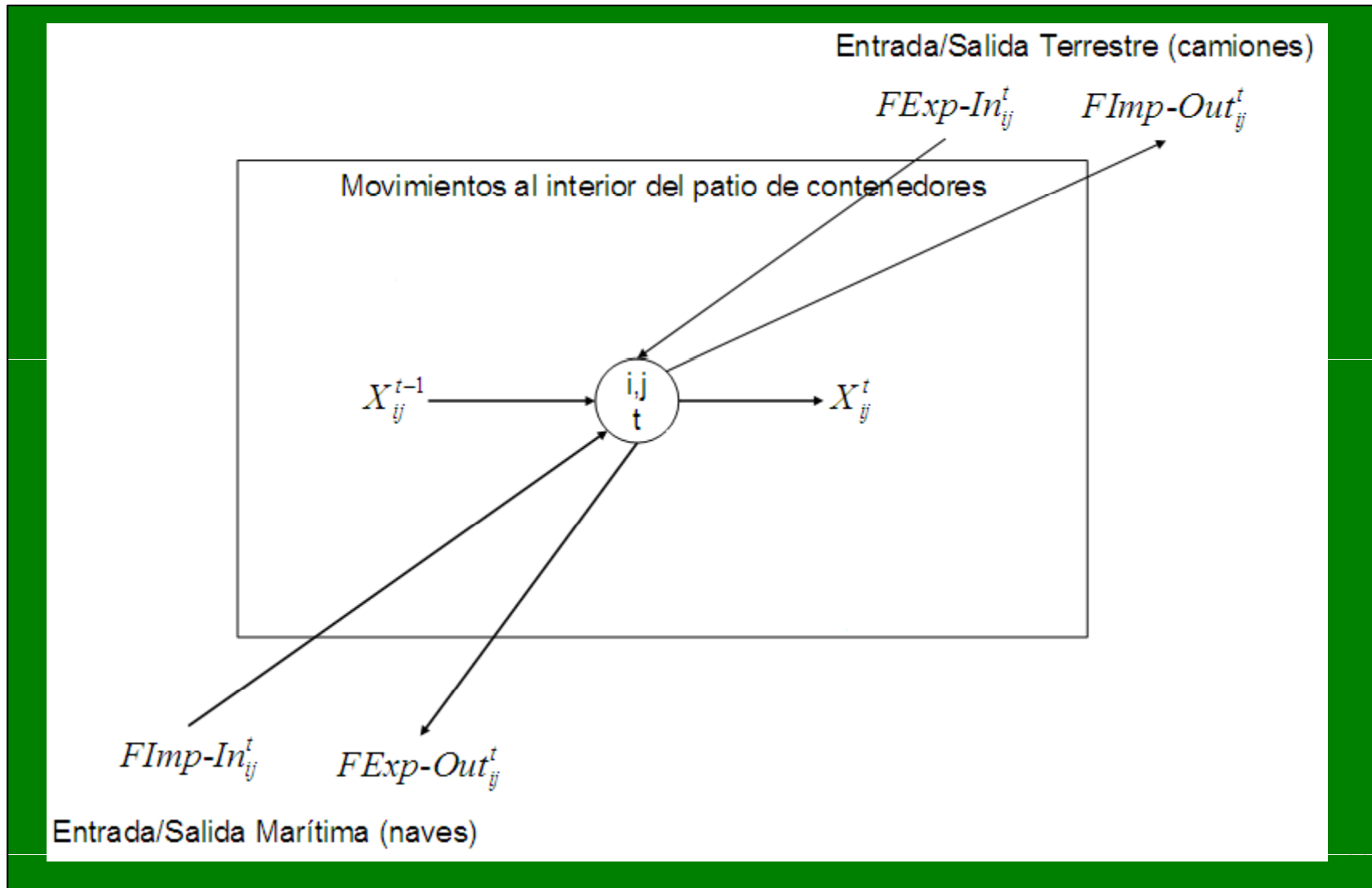
- ◆ Número de contenedores del tipo  $i$  almacenados en la ubicación  $j$  en el periodo  $t$

**Tipos de contenedores (i)**

- |                   |                          |
|-------------------|--------------------------|
| -Dry, Reefer, IMO | -Dimensión: 20/40 Teus   |
| -Lleno/Vacío      | -Importación/Exportación |
| -Servicio (nave)  | -Puerto destino          |



# +Planificación de Patio (YPP)



**Balance de masa -ubicación  $j$ , periodo  $t$ , tipo de contenedor  $i$**



# +Planificación de Patio (YPP)

$$\text{Min } Z = \sum_{t \in T} \sum_{i \in \text{Exp}} \sum_{j \in B} (ce_{ij} \cdot FS_{ij}^t) + \sum_{t \in T} \sum_{i \in \text{Imp}} \sum_{j \in B} (cd_{ij} \cdot FE_{ij}^t) \quad (1)$$

Subject to:

$$x_{ij}^t \leq \text{Cap}B_j * NB_{ij}^t \quad \text{No almacenar más contenedores de la capacidad en bays (excepto IMO)} \quad \forall i \in (S - CI), j \in B, t \in T \quad (2)$$

$$x_{ij}^t \leq \text{Cap}BIMO_j * NB_{ij}^t \quad \text{Idem pero para IMO} \quad \forall i \in CI, j \in B, t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{i \in S} NB_{ij}^t + \sum_{i \in C40} 2NB_{ij}^t \leq \text{Cant}B_j \quad \text{No asignar mayor número de bays del disponible} \quad \forall j \in B, t \in T \quad (4)$$

$$x_{ij}^t + FS_{ij}^t = x_{ij}^{t-1} + FE_{ij}^t \quad \text{Balance de Inventario (Flujos)} \quad \forall i \in S, j \in B, t \in T \quad (5)$$

$$\sum_j FS_{ij}^t = D_i^t \quad \text{Flujo de contenedores que salen del patio} \quad \forall i \in S, t \in T \quad (6)$$

$$\sum_j FE_{ij}^t = O_i^t \quad \text{Flujo de contenedores que entran al patio} \quad \forall i \in S, t \in T \quad (7)$$

$$\sum_{i \in CR} NB_{ij}^t = 0 \quad \text{No asignar reefer donde no está habilitado} \quad \forall j \in (B - BR), t \quad (8)$$

$$\sum_{i \in CI} NB_{ij}^t = 0 \quad \text{No asignar IMO donde no está habilitado} \quad \forall j \in (B - BI), t \quad (9)$$

$$x_{ij}^t \geq 0, NB_{ij}^t \geq 0, \text{ integer} \quad \forall i, j, t \quad (10)$$





# **+Planificación de Patio (YPP)**

## **Formulación basada en la Optimización del Movimiento de las Grúas en Patio**

La formulación propuesta busca garantizar un continuo flujo de contenedores desde/hacia las grúas de muelle (Grúa Gantry), ya que esto garantiza un menor tiempo de permanencia de las naves.

Observemos que es deseable que los contenedores de exportación que serán embarcados en una misma nave sean asignados a ubicaciones en el patio relativamente cercanas, para reducir los movimientos de las grúas de patio. Acorde con esto, el modelo propuesto busca minimizar la distancia entre contenedores de una misma segregación en el mismo periodo o bien, en periodos contiguos.

Lo anterior asegura que contenedores del mismo tipo que serán manejados por la misma grúa de patio, estén lo más cerca posible y los movimientos de las grúas de patio se minimicen, pero respetando la disponibilidad de tractocamiones en la terminal, la cual es modelada como una máxima distancia que pueden recorrer los camiones durante una hora de tiempo.





# +Planificación de Patio (YPP)

$$\text{Min } \left\{ \sum_{t \in T} \sum_{i \in S} \sum_{j \in B} \sum_{l \in B} u_{ijl}^t \cdot d_{jl} \right\} \quad \text{Minimiza la distancia entre contenedores de una misma segregación asignados a bloques diferentes en un mismo periodo o bien en periodos consecutivos.} \quad (1)$$

Subject to:

(2) – (10)

$$FE_{ij}^t \leq ye_{ij}^t * (CapB_j * CantB_j) \quad ye=1 \text{ si el contenedor de tipo } i \text{ se asigna al bloque } j \text{ en el periodo } t \quad \forall i, j, t \quad (2)$$

$$u_{ijl}^t \geq ye_{ij}^t + ye_{il}^{t-1} - 1 \quad u=1 \text{ si (a) se asignan contenedores de la misma segregación a los bloques } l \text{ y } j \text{ en el periodo } t; \text{ (b) si contenedores de la misma segregación se asignan en bloques } l \text{ y } j \text{ en periodos consecutivos (t y t+1)} \quad \forall i, j, l, t \quad (3)$$

$$u_{ijl}^t \geq ye_{ij}^t + ye_{il}^t - 1 \quad \forall i, j, l, t \quad (4)$$

$$\frac{\sum_{j \in B} \left( \sum_{i \in EXPO} (d_{ij} \cdot FS_{ij}^t) + \sum_{i \in IMPO} (d_{ij} \cdot FE_{ij}^t) \right)}{r_t} \leq W \quad \text{Establece la máxima distancia que pueden recorrer por hora los tracto-camiones durante las operaciones de carga y descarga de una nave.} \quad \forall t \quad (5)$$

$$ye_{ij}^t \in \{0,1\}; \quad u_{ijl}^t \in \{0,1\}; \quad \forall i, l \in S, j \in B, t \in T \quad (6)$$



# +Planificación de Patio (YPP)

## Experimentación Computacional: generación de instancias

| Segreg | Description        | Condition | Segreg | Description         | Condition | Segreg | Description         | Condition          |
|--------|--------------------|-----------|--------|---------------------|-----------|--------|---------------------|--------------------|
| 1      | STI/Terminal 2     | dry       | 14     | Katharina 878       | dry       | 27     | Santa Catalina 879  | dry                |
| 2      | Hammonia Fortuna   | IMO       | 15     | City of Xiamen 855  | dry       | 28     | CSAV Lingue 863     | dry                |
| 3      | Cap Finisterre 834 | dry       | 16     | CSAV Lingue 864     | dry       | 29     | CSAV Byron 852      | dry                |
| 4      | Bonny 849          | IMO       | 17     | Hammonia Fortuna 77 | dry       | 30     | Libra Corcovado 883 | dry                |
| 5      | CSAV Lingue 864    | reefer    | 18     | Mandarin Arrow 763  | dry       | 31     | Impo                | Sitio 1 dry        |
| 6      | Bonny 849          | reefer    | 19     | CFS STI 4           | dry       | 32     | Impo                | Sitio 1 IMO        |
| 7      | City of Xiamen 855 | reefer    | 20     | Cap Breton 685      | dry       | 33     | Impo                | Sitio 1 Reefer     |
| 8      | Cap Finisterre 834 | reefer    | 21     | CSAV Lebu 709       | dry       | 34     | Impo                | Sitio 1 IMO Reefer |
| 9      | Katharina 878      | reefer    | 22     | Esther Schulte 795  | dry       | 35     | Impo                | Sitio 2 dry        |
| 10     | Hammonia Fortuna   | reefer    | 23     | Cap Byron 852       | dry       | 36     | Impo                | Sitio 2 reefer     |
| 11     | Bonny 849          | dry       | 24     | Marathonas 881      | dry       | 37     | Impo                | Sitio 3 dry        |
| 12     | Olga Maersk 794    | reefer    | 25     | Olga Maersk 794     | dry       | 38     | Impo                | Sitio 3 reefer     |
| 13     | Esther Schulte 795 | reefer    | 26     | Libra Corcovado 883 | dry       |        |                     |                    |

**38 Segregaciones**



# +Planificación de Patio (YPP)

## Experimentación Computacional: generación de instancias

### Periodos de tiempo

2-2-4-4-4-8-8-8-8-8-8-8

**Velocidad Promedio  
Tracto-camiones:  
12 kms/hra.**



Generación de Instancias: variaciones en flujo e inventario de contenedores

|                         |    | Variación de Flujo |            |            |            |            |
|-------------------------|----|--------------------|------------|------------|------------|------------|
|                         |    | F1                 | F2         | F3         | F4         | F5         |
| Variación de Inventario | I1 | Inst. I1F1         | Inst. I1F2 | Inst. I1F3 | Inst. I1F4 | Inst. I1F5 |
|                         | I2 | Inst. I2F1         | Inst. I2F2 | Inst. I2F3 | Inst. I2F4 | Inst. I2F5 |
|                         | I3 | Inst. I3F1         | Inst. I3F2 | Inst. I3F3 | Inst. I3F4 | Inst. I3F5 |
|                         | I4 | Inst. I4F1         | Inst. I4F2 | Inst. I4F3 | Inst. I4F4 | Inst. I4F5 |
|                         | I5 | Inst. I5F1         | Inst. I5F2 | Inst. I5F3 | Inst. I5F4 | Inst. I5F5 |



# +Planificación de Patio (YPP)

## Resultados con dos alternativas de solución de CPLEX:

| Instance | Automatic |         | MIP Cuts moderately |         | Instance | Automatic |         | MIP Cuts moderately |         |
|----------|-----------|---------|---------------------|---------|----------|-----------|---------|---------------------|---------|
|          | Gap       | Time    | Gap                 | Time    |          | Gap       | Time    | Gap                 | Time    |
| I1F1     | 6.64%     | 587.98  | 1.82%               | 1089.07 | I3F4     | 0.00%     | 372.39  | 1.82%               | 991.63  |
| I1F2     | 0.00%     | 241.85  | 0.00%               | 462.48  | I3F5     | 0.00%     | 261.57  | 0.00%               | 218.48  |
| I1F3     | 0.00%     | 984.45  | 0.00%               | 361.47  | I4F1     | 0.00%     | 738.24  | 0.00%               | 363.29  |
| I1F4     | 0.00%     | 168.83  | 0.00%               | 402.76  | I4F2     | 0.00%     | 496.78  | 0.00%               | 316.26  |
| I1F5     | 0.00%     | 826.21  | 0.00%               | 1127.74 | I4F3     | 0.00%     | 313.39  | 0.22%               | 7218.97 |
| I2F1     | 3.33%     | 743.48  | 5.63%               | 887.28  | I4F4     | 0.00%     | 769.14  | 0.00%               | 2085.36 |
| I2F2     | 0.00%     | 1127.79 | 0.00%               | 999.26  | I4F5     | 4.41%     | 724.47  | 0.00%               | 357.68  |
| I2F3     | 0.46%     | 2382.88 | 0.00%               | 283.44  | I5F1     | 0.00%     | 2533.43 | 0.00%               | 178.99  |
| I2F4     | 11.27%    | 604.93  | 0.00%               | 356.49  | I5F2     | 0.60%     | 1384.39 | 1.12%               | 792.45  |
| I2F5     | 0.00%     | 358.41  | 6.52%               | 483.47  | I5F3     | 0.00%     | 387.49  | 0.00%               | 598.59  |
| I3F1     | 0.00%     | 778.58  | 0.00%               | 607.13  | I5F4     | 1.59%     | 616.31  | 0.00%               | 351.28  |
| I3F2     | 4.38%     | 724.93  | 0.00%               | 367.32  | I5F5     | 0.00%     | 6811.07 | 2.32%               | 821.93  |
| I3F3     | 0.17%     | 7232.03 | 0.00%               | 319.95  |          |           |         |                     |         |



# +Planificación de Patio (YPP)

## Instancia Original (I3F2): Inventario Inicial

|    |                    |        |    |                     |     |    |                    |                    |
|----|--------------------|--------|----|---------------------|-----|----|--------------------|--------------------|
| 1  | ST/TERMINAL 2      | dry    | 14 | KATHARINA S 878     | dry | 27 | SANTA CATALINA 879 | dry                |
| 2  | HAMMONIA FORTUNA 7 | IMO    | 15 | CITY OF XIAMEN 855  | dry | 28 | CSAV LINGUE 863    | dry                |
| 3  | CAP FINISTERRE 834 | dry    | 16 | CSAV LINGUE 864     | dry | 29 | CAP BYRON 852      | reefer             |
| 4  | BONNY 849          | IMO    | 17 | HAMMONIA FORTUNA 77 | dry | 30 | LIBRA CORCOVADO 8  | reefer             |
| 5  | CSAV LINGUE 864    | reefer | 18 | MANDARIN ARROW 763  | dry | 31 | Impo               | Sitio 1 dry        |
| 6  | BONNY 849          | reefer | 19 | CFS STI 4           | dry | 32 | Impo               | Sitio 1 IMO        |
| 7  | CITY OF XIAMEN 855 | reefer | 20 | CAP BRETON 885      | dry | 33 | Impo               | Sitio 1 reefer     |
| 8  | CAP FINISTERRE 834 | reefer | 21 | CSAV LEBU 709       | dry | 34 | Impo               | Sitio 1 IMO reefer |
| 9  | KATHARINA S 878    | reefer | 22 | ESTHER SCHULTE 795  | dry | 35 | Impo               | Sitio 2 dry        |
| 10 | HAMMONIA FORTUNA 7 | reefer | 23 | CAP BYRON 852       | dry | 36 | Impo               | Sitio 2 reefer     |
| 11 | BONNY 849          | dry    | 24 | MARATHONAS 881      | dry | 37 | Impo               | Sitio 3 dry        |
| 12 | OLGA MAERSK 794    | reefer | 25 | OLGA MAERSK 794     | dry | 38 | Impo               | Sitio 3 reefer     |
| 13 | ESTHER SCHULTE 795 | reefer | 26 | LIBRA CORCOVADO 883 | dry |    |                    |                    |

|   |   |    |    |  |  |  |  |  |  |
|---|---|----|----|--|--|--|--|--|--|
| 9 | S | 1  | 10 |  |  |  |  |  |  |
|   | X | 16 | 4  |  |  |  |  |  |  |

|   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 8 | S | 1  | 5  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 33 |
|   | X | 60 | 24 | 30 | 96 | 2  | 2  | 1  | 49 |

|   |   |   |    |    |   |    |    |    |    |
|---|---|---|----|----|---|----|----|----|----|
| 7 | S | 5 | 6  | 7  | 8 | 9  | 10 | 33 | 34 |
|   | X | 4 | 22 | 10 | 4 | 10 | 2  | 65 | 2  |

|    |   |    |     |  |  |  |  |  |  |
|----|---|----|-----|--|--|--|--|--|--|
| 11 | S | 11 | 31  |  |  |  |  |  |  |
|    | X | 60 | 103 |  |  |  |  |  |  |

|   |   |    |   |    |  |  |  |  |  |
|---|---|----|---|----|--|--|--|--|--|
| 6 | S | 5  | 6 | 33 |  |  |  |  |  |
|   | X | 80 | 6 | 90 |  |  |  |  |  |

|   |   |   |     |    |  |  |  |  |  |
|---|---|---|-----|----|--|--|--|--|--|
| 4 | S | 2 | 31  | 32 |  |  |  |  |  |
|   | X | 4 | 702 | 16 |  |  |  |  |  |

|   |   |   |    |     |    |  |  |  |  |
|---|---|---|----|-----|----|--|--|--|--|
| 2 | S | 2 | 4  | 31  | 32 |  |  |  |  |
|   | X | 4 | 10 | 397 | 54 |  |  |  |  |

|    |   |    |    |    |    |    |  |  |  |
|----|---|----|----|----|----|----|--|--|--|
| 10 | S | 3  | 11 | 15 | 16 | 31 |  |  |  |
|    | X | 19 | 48 | 33 | 18 | 10 |  |  |  |

|   |   |   |   |    |    |  |  |  |  |
|---|---|---|---|----|----|--|--|--|--|
| 5 | S | 1 | 2 | 31 | 32 |  |  |  |  |
|   | X | 2 | 3 | 1  | 6  |  |  |  |  |

|   |   |    |   |    |  |  |  |  |  |
|---|---|----|---|----|--|--|--|--|--|
| 3 | S | 2  | 4 | 31 |  |  |  |  |  |
|   | X | 14 | 6 | 2  |  |  |  |  |  |

|   |   |    |   |   |    |    |  |  |  |
|---|---|----|---|---|----|----|--|--|--|
| 1 | S | 2  | 3 | 4 | 31 | 32 |  |  |  |
|   | X | 21 | 1 | 2 | 6  | 49 |  |  |  |

Sitio 3

Sitio 2

Sitio 1



# +Planificación de Patio (YPP)

## Instancia Original (I3F2): Solución (1)

|    |                    |        |    |                      |     |    |                     |                    |
|----|--------------------|--------|----|----------------------|-----|----|---------------------|--------------------|
| 1  | STI/TERMINAL 2     | dry    | 14 | KATHARINA S 878      | dry | 27 | SANTA CATALINA 879  | dry                |
| 2  | HAMMONIA FORTUNA 7 | IMO    | 15 | CITY OF XIAMEN 855   | dry | 28 | CSAV LINGUE 863     | dry                |
| 3  | CAP FINISTERRE 834 | dry    | 16 | CSAV LINGUE 864      | dry | 29 | CAP BYRON 852       | reefer             |
| 4  | BONNY 849          | IMO    | 17 | HAMMONIA FORTUNA 773 | dry | 30 | LIBRA CORCOVADO 883 | reefer             |
| 5  | CSAV LINGUE 864    | reefer | 18 | MANDARIN ARROW 763   | dry | 31 | Impo                | Sitio 1 dry        |
| 6  | BONNY 849          | reefer | 19 | CFS STI 4            | dry | 32 | Impo                | Sitio 1 IMO        |
| 7  | CITY OF XIAMEN 855 | reefer | 20 | CAP BRETON 685       | dry | 33 | Impo                | Sitio 1 reefer     |
| 8  | CAP FINISTERRE 834 | reefer | 21 | CSAV LEBU 709        | dry | 34 | Impo                | Sitio 1 IMO reefer |
| 9  | KATHARINA S 878    | reefer | 22 | ESTHER SCHULTE 795   | dry | 35 | Impo                | Sitio 2 dry        |
| 10 | HAMMONIA FORTUNA 7 | reefer | 23 | CAP BYRON 852        | dry | 36 | Impo                | Sitio 2 reefer     |
| 11 | BONNY 849          | dry    | 24 | MARATHONAS 881       | dry | 37 | Impo                | Sitio 3 dry        |
| 12 | OLGA MAERSK 794    | reefer | 25 | OLGA MAERSK 794      | dry | 38 | Impo                | Sitio 3 reefer     |
| 13 | ESTHER SCHULTE 795 | reefer | 26 | LIBRA CORCOVADO 883  | dry |    |                     |                    |

|   |   |    |    |  |  |  |  |  |  |
|---|---|----|----|--|--|--|--|--|--|
| 9 | S | 1  | 36 |  |  |  |  |  |  |
|   | X | 16 | 91 |  |  |  |  |  |  |

|   |   |    |    |     |    |    |    |    |  |
|---|---|----|----|-----|----|----|----|----|--|
| 8 | S | 1  | 5  | 10  | 11 | 12 | 13 | 14 |  |
|   | X | 60 | 24 | 145 | 96 | 13 | 14 | 1  |  |

|   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 7 | S | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 33 | 34 |
|   | X | 37 | 58 | 74 | 54 | 18 | 2  | 28 | 5  |

|    |   |    |  |  |  |  |  |  |  |
|----|---|----|--|--|--|--|--|--|--|
| 11 | S | 11 |  |  |  |  |  |  |  |
|    | X | 60 |  |  |  |  |  |  |  |

|    |   |    |    |    |    |  |  |  |  |
|----|---|----|----|----|----|--|--|--|--|
| 10 | S | 3  | 11 | 15 | 16 |  |  |  |  |
|    | X | 19 | 48 | 33 | 18 |  |  |  |  |

|   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |
|---|---|----|----|----|--|--|--|--|--|
| 6 | S | 5  | 6  | 33 |  |  |  |  |  |
|   | X | 86 | 49 | 99 |  |  |  |  |  |

|   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|
| 5 | S | 1 | 2 |  |  |  |  |  |  |
|   | X | 2 | 3 |  |  |  |  |  |  |

|   |   |   |     |    |    |  |  |  |  |
|---|---|---|-----|----|----|--|--|--|--|
| 4 | S | 2 | 31  | 32 | 38 |  |  |  |  |
|   | X | 4 | 694 | 16 | 68 |  |  |  |  |

|   |   |   |    |     |    |  |  |  |  |
|---|---|---|----|-----|----|--|--|--|--|
| 2 | S | 2 | 4  | 31  | 32 |  |  |  |  |
|   | X | 4 | 10 | 397 | 79 |  |  |  |  |

|   |   |     |   |    |  |  |  |  |  |
|---|---|-----|---|----|--|--|--|--|--|
| 3 | S | 2   | 4 | 18 |  |  |  |  |  |
|   | X | 116 | 6 | 11 |  |  |  |  |  |

|   |   |    |   |    |    |  |  |  |  |
|---|---|----|---|----|----|--|--|--|--|
| 1 | S | 2  | 3 | 4  | 32 |  |  |  |  |
|   | X | 21 | 1 | 99 | 27 |  |  |  |  |





# +Planificación de Patio (YPP)

## Instancia Original (I3F2): Solución (2)

|    |                    |        |    |                      |     |    |                    |                    |
|----|--------------------|--------|----|----------------------|-----|----|--------------------|--------------------|
| 1  | ST/TERMINAL 2      | dry    | 14 | KATHARINA S 878      | dry | 27 | SANTA CATALINA 879 | dry                |
| 2  | HAMMONIA FORTUNA 7 | IMO    | 15 | CITY OF XIAMEN 855   | dry | 28 | CSAV LINGUE 863    | dry                |
| 3  | CAP FINISTERRE 834 | dry    | 16 | CSAV LINGUE 864      | dry | 29 | CAP BYRON 852      | reefer             |
| 4  | BONNY 849          | IMO    | 17 | HAMMONIA FORTUNA 773 | dry | 30 | LIBRA CORCOVADO 88 | reefer             |
| 5  | CSAV LINGUE 864    | reefer | 18 | MANDARIN ARROW 763   | dry | 31 | Impo               | Sitio 1 dry        |
| 6  | BONNY 849          | reefer | 19 | CFS STI 4            | dry | 32 | Impo               | Sitio 1 IMO        |
| 7  | CITY OF XIAMEN 855 | reefer | 20 | CAP BRETON 685       | dry | 33 | Impo               | Sitio 1 reefer     |
| 8  | CAP FINISTERRE 834 | reefer | 21 | CSAV LEBU 709        | dry | 34 | Impo               | Sitio 1 IMO reefer |
| 9  | KATHARINA S 878    | reefer | 22 | ESTHER SCHULTE 795   | dry | 35 | Impo               | Sitio 2 dry        |
| 10 | HAMMONIA FORTUNA 7 | reefer | 23 | CAP BYRON 852        | dry | 36 | Impo               | Sitio 2 reefer     |
| 11 | BONNY 849          | dry    | 24 | MARATHONAS 881       | dry | 37 | Impo               | Sitio 3 dry        |
| 12 | OLGA MAERSK 794    | reefer | 25 | OLGA MAERSK 794      | dry | 38 | Impo               | Sitio 3 reefer     |
| 13 | ESTHER SCHULTE 795 | reefer | 26 | LIBRA CORCOVADO 883  | dry |    |                    |                    |

|   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |
|---|---|----|----|----|--|--|--|--|--|
| 9 | S | 1  | 10 | 36 |  |  |  |  |  |
|   | X | 16 | 4  | 74 |  |  |  |  |  |

|   |   |    |    |    |    |    |    |  |  |
|---|---|----|----|----|----|----|----|--|--|
| 8 | S | 1  | 5  | 11 | 12 | 13 | 14 |  |  |
|   | X | 60 | 24 | 96 | 23 | 24 | 1  |  |  |

|   |   |    |    |     |     |    |    |    |  |
|---|---|----|----|-----|-----|----|----|----|--|
| 7 | S | 5  | 6  | 7   | 8   | 9  | 21 | 34 |  |
|   | X | 52 | 88 | 146 | 126 | 29 | 18 | 7  |  |

|    |   |    |  |  |  |  |  |  |  |
|----|---|----|--|--|--|--|--|--|--|
| 11 | S | 11 |  |  |  |  |  |  |  |
|    | X | 60 |  |  |  |  |  |  |  |

|   |   |     |     |    |  |  |  |  |  |
|---|---|-----|-----|----|--|--|--|--|--|
| 6 | S | 5   | 6   | 33 |  |  |  |  |  |
|   | X | 128 | 117 | 78 |  |  |  |  |  |

|   |   |     |    |  |  |  |  |  |  |
|---|---|-----|----|--|--|--|--|--|--|
| 4 | S | 31  | 38 |  |  |  |  |  |  |
|   | X | 505 | 75 |  |  |  |  |  |  |

|   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |
|---|---|----|----|----|--|--|--|--|--|
| 2 | S | 4  | 31 | 32 |  |  |  |  |  |
|   | X | 10 | 70 | 76 |  |  |  |  |  |

|    |   |    |    |    |    |  |  |  |  |
|----|---|----|----|----|----|--|--|--|--|
| 10 | S | 3  | 11 | 15 | 16 |  |  |  |  |
|    | X | 19 | 48 | 33 | 18 |  |  |  |  |

|   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|
| 5 | S | 1 |  |  |  |  |  |  |  |
|   | X | 2 |  |  |  |  |  |  |  |

|   |   |   |    |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|----|--|--|--|--|--|--|
| 3 | S | 4 | 18 |  |  |  |  |  |  |
|   | X | 6 | 19 |  |  |  |  |  |  |

|   |   |   |     |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|-----|--|--|--|--|--|--|
| 1 | S | 3 | 4   |  |  |  |  |  |  |
|   | X | 1 | 175 |  |  |  |  |  |  |



# +Planificación de Patio (YPP)

## Instancia Original (I3F2): Solución (3)

|    |                    |        |    |                      |     |    |                    |                    |
|----|--------------------|--------|----|----------------------|-----|----|--------------------|--------------------|
| 1  | STI/TERMINAL 2     | dry    | 14 | KATHARINA S 878      | dry | 27 | SANTA CATALINA 879 | dry                |
| 2  | HAMMONIA FORTUNA 7 | IMO    | 15 | CITY OF XIAMEN 855   | dry | 28 | CSAV LINGUE 863    | dry                |
| 3  | CAP FINISTERRE 834 | dry    | 16 | CSAV LINGUE 864      | dry | 29 | CAP BYRON 852      | reefer             |
| 4  | BONNY 849          | IMO    | 17 | HAMMONIA FORTUNA 773 | dry | 30 | LIBRA CORCOVADO 88 | reefer             |
| 5  | CSAV LINGUE 864    | reefer | 18 | MANDARIN ARROW 763   | dry | 31 | Impo               | Sitio 1 dry        |
| 6  | BONNY 849          | reefer | 19 | CFS STI 4            | dry | 32 | Impo               | Sitio 1 IMO        |
| 7  | CITY OF XIAMEN 855 | reefer | 20 | CAP BRETON 685       | dry | 33 | Impo               | Sitio 1 reefer     |
| 8  | CAP FINISTERRE 834 | reefer | 21 | CSAV LEBU 709        | dry | 34 | Impo               | Sitio 1 IMO reefer |
| 9  | KATHARINA S 878    | reefer | 22 | ESTHER SCHULTE 795   | dry | 35 | Impo               | Sitio 2 dry        |
| 10 | HAMMONIA FORTUNA 7 | reefer | 23 | CAP BYRON 852        | dry | 36 | Impo               | Sitio 2 reefer     |
| 11 | BONNY 849          | dry    | 24 | MARATHONAS 881       | dry | 37 | Impo               | Sitio 3 dry        |
| 12 | OLGA MAERSK 794    | reefer | 25 | OLGA MAERSK 794      | dry | 38 | Impo               | Sitio 3 reefer     |
| 13 | ESTHER SCHULTE 795 | reefer | 26 | LIBRA CORCOVADO 883  | dry |    |                    |                    |

|   |   |    |    |  |  |  |  |  |  |
|---|---|----|----|--|--|--|--|--|--|
| 9 | S | 1  | 36 |  |  |  |  |  |  |
|   | X | 16 | 92 |  |  |  |  |  |  |

|   |   |    |    |    |    |    |    |  |  |
|---|---|----|----|----|----|----|----|--|--|
| 8 | S | 1  | 5  | 11 | 12 | 13 | 14 |  |  |
|   | X | 60 | 24 | 96 | 31 | 32 | 1  |  |  |

|   |   |    |     |     |     |    |    |    |  |
|---|---|----|-----|-----|-----|----|----|----|--|
| 7 | S | 5  | 6   | 7   | 8   | 9  | 21 | 34 |  |
|   | X | 83 | 173 | 179 | 181 | 36 | 25 | 6  |  |

|    |   |    |  |  |  |  |  |  |  |
|----|---|----|--|--|--|--|--|--|--|
| 11 | S | 11 |  |  |  |  |  |  |  |
|    | X | 60 |  |  |  |  |  |  |  |

|   |   |     |     |    |  |  |  |  |  |
|---|---|-----|-----|----|--|--|--|--|--|
| 6 | S | 5   | 6   | 33 |  |  |  |  |  |
|   | X | 141 | 136 | 70 |  |  |  |  |  |

|   |   |     |     |  |  |  |  |  |  |
|---|---|-----|-----|--|--|--|--|--|--|
| 4 | S | 31  | 38  |  |  |  |  |  |  |
|   | X | 348 | 113 |  |  |  |  |  |  |

|   |   |    |    |  |  |  |  |  |  |
|---|---|----|----|--|--|--|--|--|--|
| 2 | S | 4  | 32 |  |  |  |  |  |  |
|   | X | 10 | 89 |  |  |  |  |  |  |

|    |   |    |    |    |    |  |  |  |  |
|----|---|----|----|----|----|--|--|--|--|
| 10 | S | 3  | 11 | 15 | 16 |  |  |  |  |
|    | X | 19 | 48 | 33 | 18 |  |  |  |  |

|   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|
| 5 | S | 1 |  |  |  |  |  |  |  |
|   | X | 2 |  |  |  |  |  |  |  |

|   |   |   |    |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|----|--|--|--|--|--|--|
| 3 | S | 4 | 18 |  |  |  |  |  |  |
|   | X | 6 | 27 |  |  |  |  |  |  |

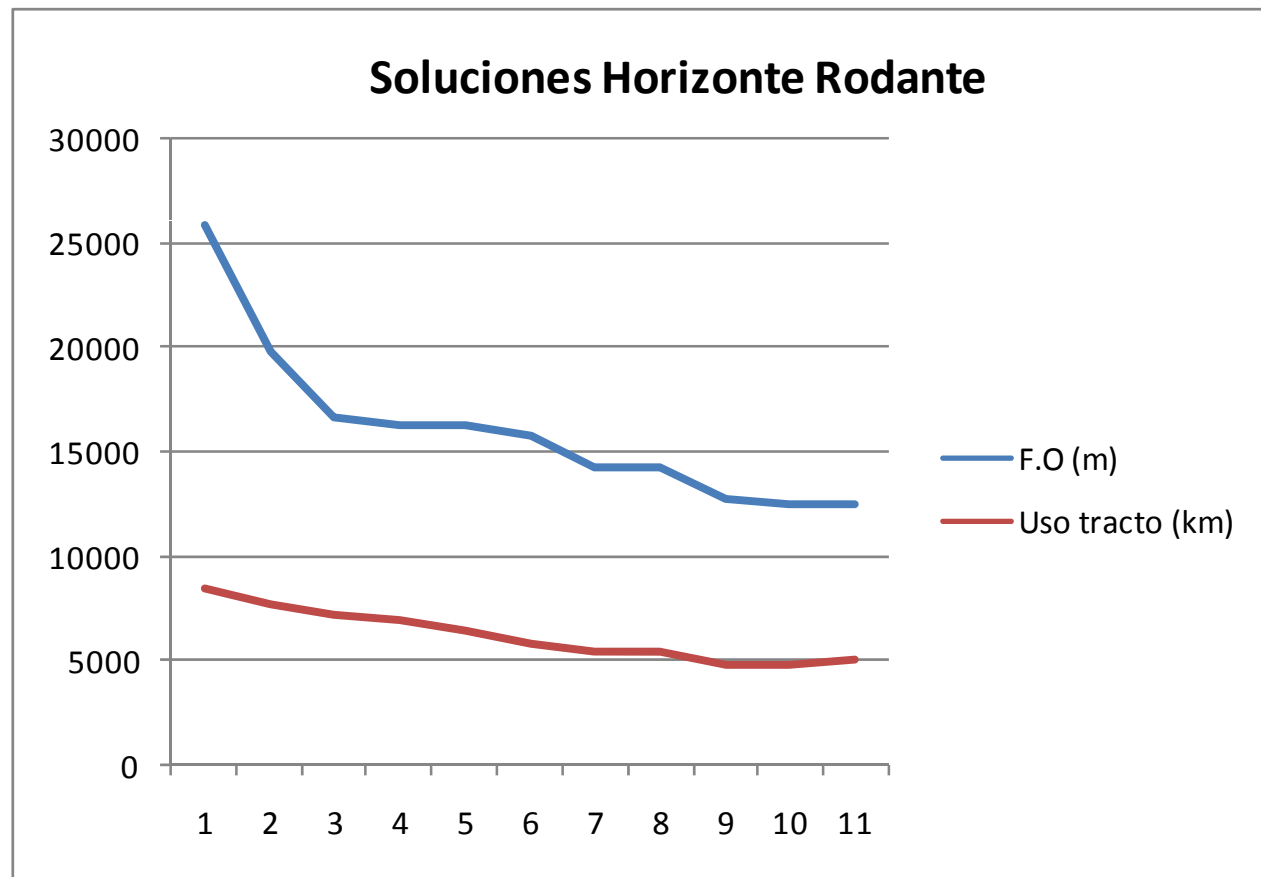
|   |   |   |     |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|-----|--|--|--|--|--|--|
| 1 | S | 3 | 4   |  |  |  |  |  |  |
|   | X | 1 | 251 |  |  |  |  |  |  |





# +Planificación de Patio (YPP)

**Instancia Original (I3F2): Valor de la Función Objetivo y Uso de tracto camiones a lo largo del horizonte rodante**





# +Planificación de Patio (YPP)

## CONCLUSIONES Y TRABAJO ACTUAL

Presentamos dos modelos de optimización de las operaciones en un patio de una terminal de contenedores.

Se pudo observar que conforme se implementa el horizonte rodante, se puede reducir el uso de los tracto-camiones y los contenedores de la misma segregación tienden a asignarse en espacios cercanos.

Como trabajo actual, estamos implementando un modelo biobjetivo donde el segundo objetivo consista en minimizar el uso de tractocamiones ( $W$ ).

También estamos trabajando en algún método alternativo a CPLEX como metodología de solución del problema.

