

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INFORMÁTICA

**SISTEMA MULTIAGENTE PARA EL PROBLEMA DE
ASIGNACIÓN DE PATIO**

KEVIN GUILLERMO MATURANA CONTRERAS

INFORME FINAL DEL PROYECTO
PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN INFORMÁTICA

DICIEMBRE 2012

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Informática

SISTEMA MULTIAGENTE PARA EL PROBLEMA DE ASIGNACIÓN DE PATIO

KEVIN GUILLERMO MATURANA CONTRERAS

Profesor Guía: **Claudio Cubillos Figueroa**

Profesor Co-referente: **Rosa Gonzalez**

Carrera: **Ingeniería de Ejecución en Informática**

DICIEMBRE 2012

Dedicatoria

La presente tesis se la dedico a mi familia, pues gracias a sus consejos y palabras de aliento crecí como persona. A mis padres, a mis hermanos, por su apoyo, confianza y amor. Gracias por ayudarme a cumplir mis objetivos como persona y estudiante.

Kevin Maturana Contreras

Índice

Resumen	vii
Abstract.....	viii
Lista de Figuras	ix
Lista de Tablas.....	x
1 Presentación del Tema.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos del Proyecto.....	2
1.2.1 Objetivos Generales.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Metodología de Trabajo.....	2
1.4 Plan de Trabajo	3
2 Yard Allocation Problem.....	5
2.1 Terminal Portuario de Arica	5
2.1.1 Infraestructura del Puerto de Arica.....	5
2.1.2 Comunidad Portuaria de Arica	6
2.1.3 Estadísticas del Terminal Portuario de Arica	7
2.1.4 Subsistema de Almacenamiento	10
2.2 Proceso de Importación	11
2.3 Proceso de Exportación	12
2.4 Layout del patio	13
2.5 Operación de las naves	14
2.6 Planificación y re-planificación del espacio	15
2.7 Desembarque de contenedores de los buques	16
3 Sistema Multiagente	17
3.1 Descripción de Agente.....	17
3.2 Arquitecturas de agentes	18
3.2.1 Arquitecturas Reactivas	18
3.2.2 Arquitecturas Deliberativas	19

3.2.3	Arquitecturas Híbridas.....	21
3.3	Lenguajes de agentes	22
3.3.1	Lenguajes de programación de la estructura del agente	22
3.4	Sistemas Multiagente.....	23
3.4.1	Ventajas del uso de los Sistemas Multiagente.....	23
3.4.2	Interacciones entre agentes de Sistemas Multiagente.....	24
3.4.3	Infraestructura de Agentes.....	24
3.5	Arquitectura FIPA.....	24
3.5.1	Seguridad en el desarrollo de Sistemas Multiagente	25
3.5.2	Movilidad de Agentes en la Plataforma	26
3.5.3	Infraestructura de agentes.....	27
4	Revisión de Literatura	28
5	Desarrollo del Proyecto	30
5.1	Descripción de la Propuesta.....	30
5.2	Alcance de la Propuesta.....	30
5.3	Diseño del Sistema.....	30
5.3.1	Descripción de Dominio.....	30
5.3.2	Identificación de Agentes.....	31
5.3.3	Identificación de Roles	33
5.3.4	Descripción de Protocolos	34
5.3.5	Descripción de Roles	35
5.4	Estructura de los Datos de Entrada	36
5.4.1	Lista de Bloque.....	36
5.4.2	Planificación Naviera	36
5.4.3	Lista de Naves y Prioridades Viajes	36
5.4.4	Distancia entre Bloques y Sitio	37
5.4.5	Segregación de Contenedores.....	37
5.4.6	Contenedores Iniciales.....	37
5.4.7	Planificación de las Ofertas y Demandas de Exportación.....	38
5.4.8	Rango de Tiempo de la Oferta y Demanda	38
5.5	Estructura de los Datos de Salida.....	38

5.6	Interfaz Gráfica del Sistema Multiagente	39
5.7	Pruebas y Resultados del Sistema Multiagente	39
5.8	Casos de Pruebas	40
5.8.1	Resultado Basado en la Distancia Recorrida	40
5.8.2	Resultado Basado en los Movimientos Realizados	41
5.9	Resultado en base al Movimiento y a la Distancia	42
6	Conclusión	44
7	Referencia.....	45

Resumen

El problema de asignación de patio o Yard Allocation Problem (YAP) es uno de los muchos procesos de un terminal portuario, que consiste en asignar sectores de almacenamiento a los contenedores de exportación e importación. Lo que busca el YAP es aumentar la productividad de las operaciones de carga y descarga de las naves, de acuerdo a la ubicación de los contenedores dentro del centro de almacenamiento.

El objetivo principal del presente proyecto es implementar una solución al problema de asignación de patio de contenedores, por medio del desarrollo de un Sistema Multiagente, tecnología que permitirá dividir y simplificar los procesos, ya que el problema de asignación de patio de contenedores consta de muchas tareas y restricciones. Por ello nos parece factible desarrollar un Sistema Multiagente para ofrecer una solución más robusta y óptima.

Para esto se elaboraran dos casos de pruebas que permitan distinguir el impacto que tienen dos procesos muy importantes en el almacenamiento de contenedores.

Palabras Claves: Yard Allocation Problem, Sistema Multiagente, Patio de Contenedores, Terminal Portuario.

Abstract

The Yard Allocation Problem (YAP) is one of the many processes of a port terminal that consists to assign sections of the storage area to the exportation and importation containers. The YAP is searching for a solution to increase the productivity of the ships' loading and unloading operations, which would be in agreement with the locations of these containers.

The main objective of the current project is to implement a solution of the previously stated problem, using a multi agent system, technology that will permit dividing and simplifying the assignment processes. This problem has a lot of tasks and restrictions, therefore it appears practical to develop a multi agent system that will offer a more robust and optimal productivity.

For this reason two cases of tests will be prepared that can permit distinguishing the impact of both of these two very important processes in the assignment of the containers.

Keywords: Yard Allocation Problem, Sistema Multiagente, Patio de Contenedores, Terminal Portuario.

Lista de Figuras

Figura 1.1 Metodología de Investigación [Elab. Propia].....	3
Figura 1.2 Plan de Trabajo [Elab, Propia]	4
Figura 2.1 Terminal Portuario de Arica [URL 1, 2011]	5
Figura 2.2 Volumen de Carga Histórica [URL 1, 2011]	7
Figura 2.3 Subsistema de un Terminal Portuario [Elab. Propia].....	10
Figura 2.4 Proceso de Importación [InnovaChile, 2012]	12
Figura 2.5 Proceso de Exportación [InnovaChile, 2012]	13
Figura 2.6 Esquema del sistema BAROTI [Elorrieta, 2011].....	14
Figura 2.7 Planificación Naviera [URL 2, 2012]	15
Figura 3.1 Interacción agente/entorno [Elab. Propia].....	17
Figura 3.2 Arquitectura Reactiva [Elab. Propia]	19
Figura 3.3 Arquitectura Deliberativa [Elab. Propia]	20
Figura 3.4 Arquitectura Híbrida [Sycara, 1998]:.....	21
Figura 5.1 Descripción del Dominio [Elab. Propia].....	31
Figura 5.2 Identificación de Agente para YAP [Elab. Propia].....	32
Figura 5.3 Modelo de Identificación de Roles – Reserva de Sectores de Exportación [Elab. Propia]	33
Figura 5.4 Modelo de Identificación de Roles – Embarque de Contenedor de Exportación [Elab. Propia].....	34
Figura 5.5 Modelo de Identificación de Roles – Ingreso de Contenedores de Exportación [Elab. Propia].....	34
Figura 5.6 Descripción de Roles [Elab. Propia]	35
Figura 5.7 Interfaz Gráfica de Sistema Multiagente [Elab. Propia]	39
Figura 5.8 Gráfico Cantidad de Contenedores Almacenados por Sector	40
Figura 5.9 Gráfico en Base a la Distancia Recorrida	41
Figura 5.10 Gráfico en Base a los Movimientos Realizados.....	42
Figura 5.11 Gráfico en Base a los Movimientos y a la Distancia Recorrida.....	43

Lista de Tablas

Tabla 2.1 Frente de Atraque [URL 1, 2011].....	6
Tabla 2.2 Área de Almacenamiento [URL 1, 2011].....	6
Tabla 5.1 Lista de Bloque [Elab. Propia]	36
Tabla 5.2 Planificación Naviera [Elab. Propia].....	36
Tabla 5.3 Lista de Naves y Prioridades Viajes [Elab. Propia]	37
Tabla 5.4 Distancia entre Bloques y Sitio [Elab. Propia].....	37
Tabla 5.5 Segregación de Contenedores [Elab. Propia]	37
Tabla 5.6 Contenedores Iniciales [Elab. Propia]	37
Tabla 5.7 Planificación de las Ofertas y Demandas de Exportación [Elab. Propia]	38
Tabla 5.8 Datos de Salida [Elab. Propia].....	38
Tabla 5.9 Tiempo de la Distancia Recorrida	41
Tabla 5.10 Tiempo de los Movimientos Realizados	41
Tabla 5.11 Tiempo de la Distancia Recorrida más Tiempo de los Movimientos Realizados ...	42

1 Presentación del Tema

1.1 Introducción

En la actualidad, el transporte marítimo se ha vuelto uno de los más importantes, ya que permite trasladar grandes cantidades de objetos en contenedores, con costos significativamente menores a los demás medios (terrestre y aéreo) y es el más utilizado actualmente. Sin embargo, la carga que moviliza este medio marítimo pasa el 60 por ciento del tiempo en el terminal portuario, en su proceso de carga y descarga de los contenedores, y no en su transporte propiamente tal.

En un terminal portuario el manejo de contenedores se divide en cuatro tareas principales: la primera es la planificación de la estiba, la cual consiste en la distribución de los contenedores dentro de la nave, esto es de vital importancia para mantener estabilizada la nave durante el viaje. Luego se encuentra la planificación de lugar de atraque de la nave, la que consiste en asignar un espacio para la nave que va a arribar. Esta asignación evalúa varios factores como el largo de la nave, la cantidad de contenedores que van a ser embarcados o descargados de la nave. Dentro de las tareas también se encuentra la planificación de la grúa portuaria que es relevante en el proceso de disminuir el tiempo de desembarco y embarque de la nave. Por último se encuentra la asignación de patio de contenedores o Yard Allocation Problem (YAP), que es el encargado de almacenar los contenedores que van a ser embarcados y recibe los contenedores que desembarcan.

En este último proceso se centrará esta investigación, la cual busca optimizar el reordenamiento de los contenedores, reducir el tiempo de traslado de ellos desde el lugar de acopio al lugar de embarque, lo que conlleva reducir el movimiento de los tracto-camiones dentro del terminal portuario y realizar una comparación entre los costos en el traslado de los embalajes del patio de contenedores al lugar de atraque de la nave y el utilizado para el reordenamiento de los contenedores.

Existe una infinidad de métodos para generar una buena solución al problema, como Algoritmo Genérico, Tabú, Métodos Exactos, entre otros. En esta investigación, se utilizará la tecnología de Sistema Multiagente para realizar la optimización y comparación. Esto permitirá dividir el problema en pequeños subsistemas conocidos como agentes y al interactuar estos agentes generan una solución. La investigación se centra en presentar una solución para el proceso de exportación en un terminal portuario con Sistema Multiagente, en donde se detallan la arquitectura del sistema y de los agentes, los datos de entrada que son necesarios para realizar la prueba del sistema y, por último, los resultados obtenidos.

En lo que resta de este capítulo se describirán los objetivos, la metodología utilizada para llevar a cabo la investigación y la planificación de ésta, detallando los procesos y los plazos para realizar dicha tarea.

En el *Segundo Capítulo* se hará una descripción del terminal portuario, dándole mayor enfoque al Terminal Portuario de Arica, una revisión detallada de la asignación de patio de contenedores, mencionando las características y los factores más importantes que están involucrados.

En el *Tercer Capítulo* se detallará las características más importantes de un Sistema Multiagente y los aspectos más relevantes de esta tecnología.

En el *Cuarto Capítulo* se dará a conocer el estado del arte, donde se mencionarán investigaciones relacionadas y los diferentes métodos utilizados para solucionar problemas parecidos.

En el *Quinto Capítulo* se da a conocer la solución propuesta, donde se detallan la arquitectura, los agentes, los datos de entrada y salida utilizados para generar la solución y los resultados obtenidos en las pruebas.

1.2 Objetivos del Proyecto

1.2.1 Objetivos Generales

Desarrollar un Sistema Multiagente para resolver el problema de asignación de contenedores, donde se permita comparar la optimización de reordenamiento con el traslado de los contenedores.

1.2.2 Objetivos Específicos

Realizar un análisis detallado del problema de asignación de patio de contenedores y desarrollar una solución con la tecnología del Sistema Multiagente.

Desarrollar un modelo que agilice el proceso de toma de decisión y disminuya los costos asociados a las tareas de un patio de contenedores en un terminal portuario.

Desarrollar un sistema que permita realizar una comparación en el tiempo utilizado para el reordenamiento y el desplazamiento de los contenedores.

1.3 Metodología de Trabajo

Para realizar la investigación se utilizó la metodología Proceso Unificado de Rational (RUP) para organizar las etapas de la investigación, ya que permite estimar las tareas y horario del plan midiendo la cantidad de iteraciones. El RUP se divide en cuatro fases:

- Inicio: En esta fase se realiza un análisis detallado del problema, dándole mayor énfasis a las características más relevantes en un terminal portuario y las propiedades de la tecnología de Multiagente.
- Elaboración: Durante esta fase se elaboran los modelos donde es especificada en detalle la arquitectura de la solución propuesta.
- Construcción: En esta fase se lleva a cabo el desarrollo de Sistema Multiagente.
- Transición: En la fase de transición se realiza la prueba del Sistema Multiagente

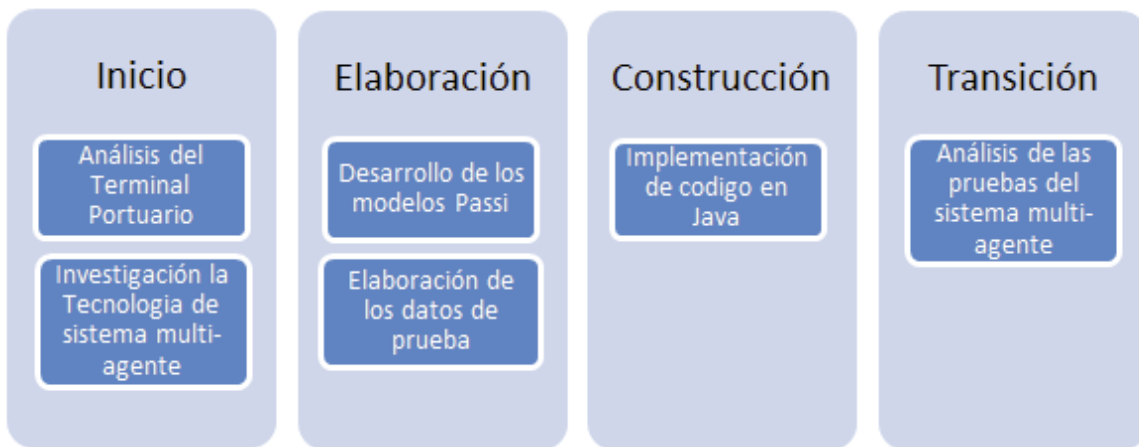


Figura 1.1 Metodología de Investigación [Elab. Propia]

1.4 Plan de Trabajo

Con el objetivo de llevar el control del tiempo de la investigación se pretende dividirla en tres etapas:

- Recolección de antecedentes y análisis de la investigación (Inicio): Esta etapa realiza el estudio de los elementos más importantes de un terminal portuario, específicamente la asignación de patio de contenedores y el estudio de Sistema Multiagente.
- Desarrollo y construcción de la solución (Elaboración): En esta etapa se desarrolla modelo Passi, el cual representa la arquitectura del sistema y un prototipo de Sistema Multiagente.
- Implementación del Sistema Multiagente (Construcción - Transición): En esta etapa se genera el sistema final, donde se realizan las pruebas, para su posterior análisis.

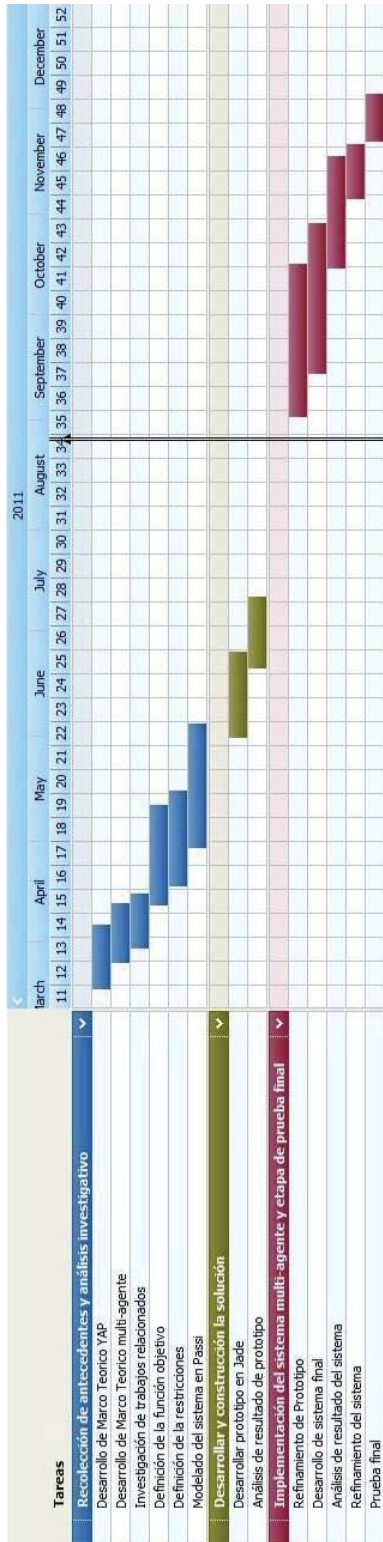


Figura 1.2 Plan de Trabajo [Elab, Propia]

2 Yard Allocation Problem

En este capítulo se dará una descripción general de los elementos más importantes de un terminal portuario, centrándose principalmente en las operaciones que se realizan en el patio de contenedores, que va desde la recepción de los contenedores de importación, el almacenamiento de los de exportación, el ordenamiento y la entrega de ellos, entre otros. Para esta investigación se utilizó como referencia el Terminal Portuario de Arica.

2.1 Terminal Portuario de Arica

La Empresa Portuaria Arica inició sus actividades el 30 de abril del año 1998, sus objetivos son la administración, explotación, desarrollo y conservación del Puerto de Arica. El Puerto de Arica se encuentra ubicado en el extremo norte de Chile, en la XV Región de Arica y Parinacota, Provincia de Arica y ciudad del mismo nombre. Es uno de los principales terminales portuarios del Norte de Chile, sirviendo de tránsito de mercaderías desde y hacia Bolivia.

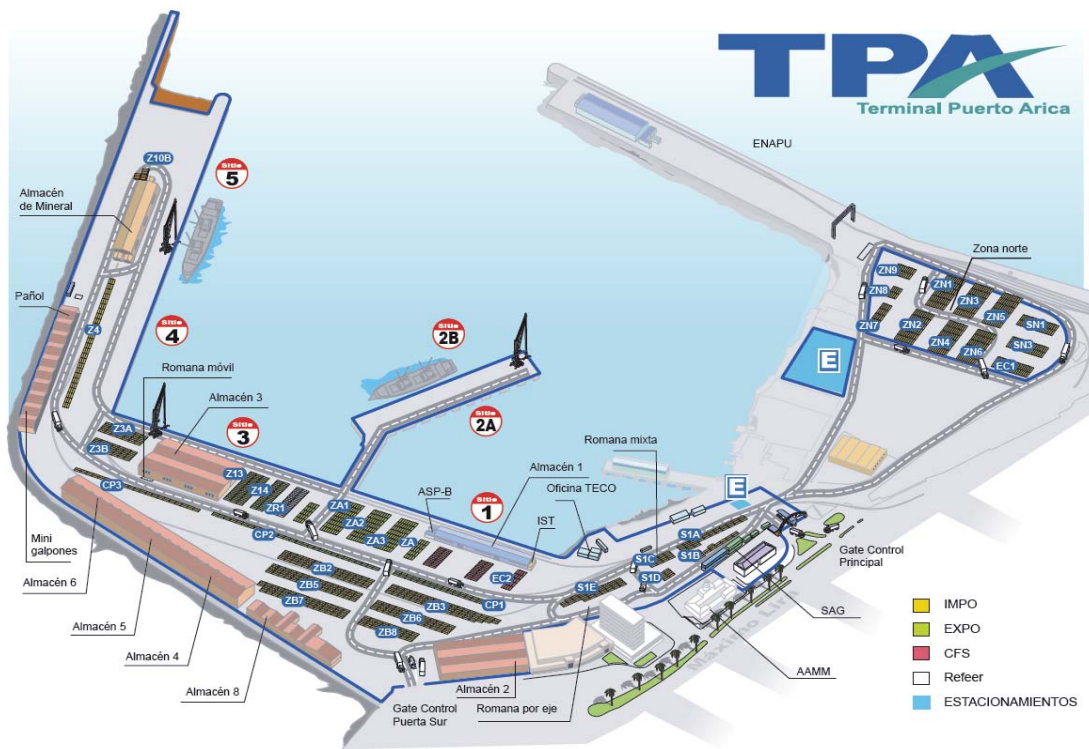


Figura 2.1 Terminal Portuario de Arica [URL 1, 2011]

2.1.1 Infraestructura del Puerto de Arica

El Terminal Portuario de Arica consta de siete sitios de atraque ubicados en el interior del molo de abrigo, con una superficie de 185.445 m² pavimentada y 27.048 m² de superficie construida. Las dimensiones de los sitios de atraque son las siguientes:

Tabla 2.1 Frente de Atraque [URL 1, 2011]

Frente de Atraque		Nº 1			Nº 2
Sitio Nº	2b	3	4	5	7
Longitud (m)	220	200	260	250	200
Ancho del Delantal (m)	38	23	50	50	24
Año de Construcción	2009	1966	1966	1966	1985
Calado Máximo Permitido	6,72	8,2	9,2	9,7	9,2
Tipo de Estructura	Tablero de hormigón armado sobre pilotes tubulares de acero	Malecón de celdas de tablestacas metálicas	Malecón de celdas de tablestacas metálicas		Malecón de celdas de tablestacas metálicas

También cuenta con las áreas de almacenamiento del terminal, las que son utilizadas para el acopio de los contenedores de exportación e importación. Como se muestra en la siguiente tabla los metros cuadrados de los sitios de acopio son:

Tabla 2.2 Área de Almacenamiento [URL 1, 2011]

Cubiertas y Semi Cubiertas		Descubiertas	
Almacén Nº	m2	Sitio Nº	m2
1	1.972	-	-
2	5.000	2b	43.954
3	5.000	3	20.225
4	2.850	4	6.864
5	2.400	5	3.807
6	2.550	7	14.720
7 ^a	366	Sector Norte EPA	5.000
7B	300	Sector Norte SOMARCO	12.750
7C	200	Sector Norte TPA	27.000
8	300	-	-

2.1.2 Comunidad Portuaria de Arica

Para enfrentar los actuales desafíos de la globalización y el aumento del comercio exterior, donde el principal modo de transporte es el marítimo, se ha conformado lo que se denomina Comunidades Portuarias, que son alianzas público-privadas que han permitido mejorar la competitividad de la cadena lógica portuaria, implementar nuevos estándares de

seguridad y de gestión ambiental, mejorar los procesos y procedimientos portuarios, potenciar el intercambio de información entre sistemas computacionales de los agentes que participan en la cadena logística del puerto, desarrollar nuevas y mejores prácticas comerciales y de manejo de carga, entre otros.

2.1.3 Estadísticas del Terminal Portuario de Arica

En esta sección se presentan estadísticas del Terminal Portuario de Arica (TPA), en términos de volúmenes de carga transferida y la estadía de los contenedores en el terminal portuario.

Volúmenes de Carga Transferidas

El crecimiento del Puerto de Arica se debe en gran parte al aumento de la carga de los contenedores transferidos, esto es un punto en común a los demás puertos del país, sin embargo, este crecimiento va de la mano con el de la carga de tránsito boliviana, la cual representa la mayor parte de los contenedores transferidos dentro del Terminal Portuario de Arica, con un promedio del setenta por ciento del total de contenedores transferidos. A continuación se presentan algunas estadísticas de la evolución de la carga movilizada por el terminal portuario.

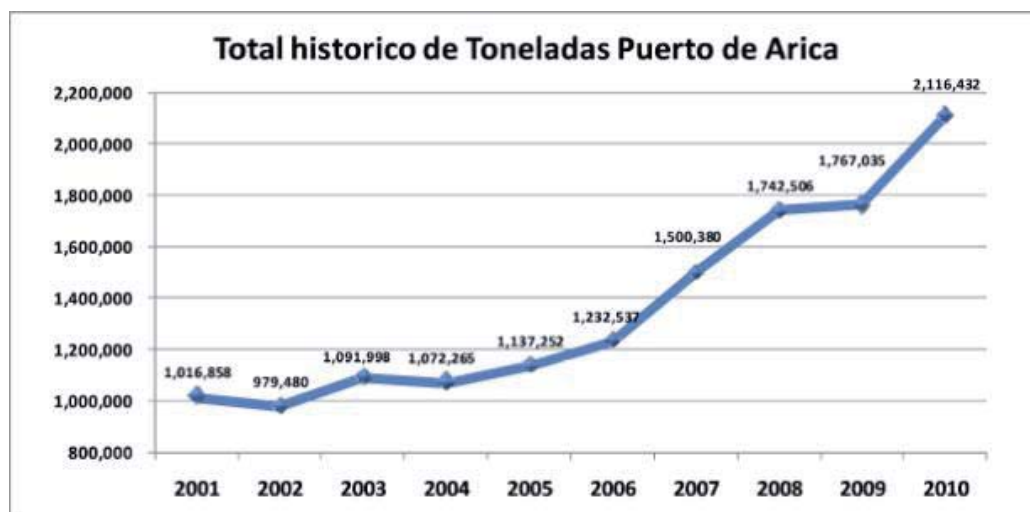


Figura 2.2 Volumen de Carga Histórica [URL 1, 2011]

Como se puede observar en la figura 2.2 a finales del año 2010, el tonelaje total transferido alcanzó las 2.116.433 de toneladas, cifra récord en la historia del Terminal Portuario de Arica, volumen superior en un 20% a igual periodo del año 2009. Tuvo su principal actividad en el embarque y desembarque de contenedores, el cual con un 21% de aumento contribuyó esencialmente a alcanzar este tonelaje, dado que este tipo de carga representó el 74% del total movilizad. En cuanto al periodo del 2011, el crecimiento del total de la carga transferida fue cercano al 25% a igual periodo del 2010, siendo la carga granel la que presentó mayor

crecimiento, con respecto al periodo anterior, con un aumento del 50% en el total de toneladas transferidas.

Estadía de Contenedores

El Puerto de Arica tiene un tiempo de permanencia mayor que otros puertos del país, lo que se debe principalmente por las condiciones del tratado de paz y amistad entre Chile y Bolivia. Los contenedores bolivianos tienen límites más altos de permanencia de la carga sin costo, registrándose un tiempo promedio de 8,5 días durante el 2011.

Logística de Terminal de Contenedores

El Terminal Portuario de Contenedores se puede definir como una conexión entre el transporte terrestre y marítimo, donde su función principal es proporcionar los medios y la organización necesarios para que el intercambio entre ambos transportes se produzca en las mejores condiciones de rapidez, eficiencia, seguridad, respecto al medio ambiente y económico.

Los principales actores [Elorrieta, 2011] identificados en un terminal para el desarrollo de las actividades de exportación o importación son:

- **Línea Naviera:** Es el responsable de trasladar la carga entre el puerto de embarque hasta el puerto de descarga. Las navieras establecen trayectorias de recorrido eficiente para sus naves para que entreguen la mayor rentabilidad combinado costo y distancia.
- **ASPB:** Es el único agente aduanero oficial acreditado por el gobierno boliviano para coordinar, planificar, controlar y fiscalizar las operaciones de comercio exterior de Bolivia.
- **Agente de Aduana:** Es un profesional auxiliar de la función pública aduanera, cuya licencia lo habilita ante el SNA para prestar servicios a terceros como gestor en la importación y exportación de las mercancías. El AGA constituye un ministro de fe, un perito, archivador y mandatario del comercio exterior que gestiona toda la documentación ante la Aduana y los Recintos de Destinación Aduanera o zonas primarias para el despacho y recepción de la carga.
- **Terminal Marítimo:** Su función es gestionar la transferencia de carga entre la nave y los consignatarios que entregan o retiran sus cargas.

- Transportista: Es el responsable de traslado de la carga y presta el servicio de retiro y entrega.
- Depósito de contenedores: Son áreas cercanas a las principales zonas portuarias, destinadas al almacenamiento de contenedores, además de servicios complementarios.
- Consignatario: Son los iniciadores de los procesos de importación y exportación al presentar el deseo de querer enviar o recibir una carga vía flete marítimo.

Un Terminal Portuario es un sistema que se compone de subsistemas, donde los más conocidos son:

1. Subsistema atraque: Este subsistema corresponde a la actividad entre el mar y el terminal, conformado principalmente de los siguientes procesos: llegada de los buques, asignación de sector de atraque y selección del próximo buque que atracará.
2. Subsistema carga-descarga: Este subsistema es el encargado de seleccionar el tipo y el número de grúas de muelle que son necesarias para llevar a cabo la tarea de carga y descarga del buque, de forma eficiente y eficaz, el cual dependerá de las características del buque y del sector de atraque que le fue asignado.
3. Subsistema de recepción y entrega terrestre: Este subsistema se encarga de la actividad terrestre con la llegada de camiones y el intervalo de tiempo, ya que los terminales portuarios cuentan con periodos determinados de recepción de camiones y entrega de contenedores.
4. Subsistema de almacenamiento: Este subsistema opera entre el subsistema de carga-descarga y el de recepción, su objetivo principal es la manipulación y el almacenamiento de los contenedores. Como el espacio dentro de un terminal portuario es limitado, es necesario que se desarrolle una política que permita tener el mejor rendimiento del espacio y del tiempo. Este subsistema es conocido también como el problema de asignación de patio o Yard Allocation Problem.

En la figura 2.3, se puede observar los diferentes subsistemas en un terminal portuario.

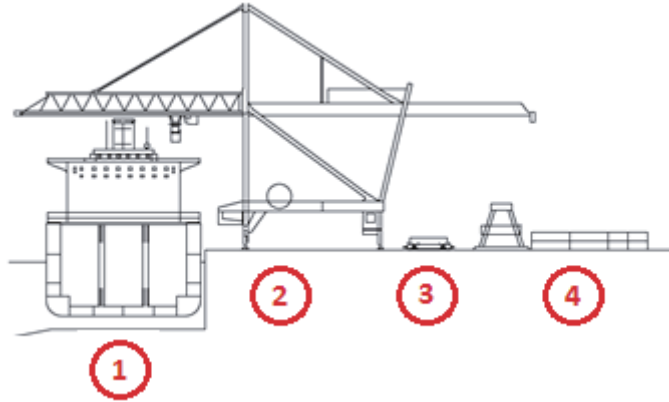


Figura 2.3 Subsistema de un Terminal Portuario [Elab. Propia]

2.1.4 Subsistema de Almacenamiento

El análisis de la operación del subsistema almacenamiento en una terminal de contenedores es de gran importancia, dado que, según muestra la tendencia generalizada, casi la totalidad de los contenedores, tanto de exportación como de importación, son almacenados en algún momento del proceso de transferencia modal, al igual que ocurre con los contenedores de trasbordo.

Las tres rutas [González, 2007] más comunes que puede seguir la carga en una terminal portuaria son las siguientes: ruta directa, ruta semidirecta y ruta indirecta. En la ruta directa, como su nombre lo indica, la carga pasa directamente desde o del transporte terrestre a las grúas de muelle. La ruta semidirecta es similar, salvo que la carga es puesta momentáneamente en la zona operación. Finalmente, para el caso indirecto, la carga es almacenada por un tiempo en la zona de almacenamiento, previo (posterior) a su carga (descarga) en el barco [Taleb-Ibrahimi, 1989].

La aplicación de la ruta directa en una terminal de contenedores, dada la gran velocidad de transferencia lograda por las grúas especializadas, requeriría una gran coordinación y espacio en el muelle para recibir a los vehículos de tierra con contenedores a transferir, de modo que su lugar en la cola a la espera para ser atendidos corresponda precisamente a la secuencia de carga o descarga de la nave.

Por su parte, la ruta semidirecta resulta muy inadecuada para el caso de los contenedores, debido a que la zona de operaciones tiene una capacidad de acopio muy limitada, especialmente por ser una zona destinada a las operaciones de grúas y al tránsito de personas. El uso de la zona de almacenamiento permite que el sistema de transferencia de contenedores, representado por las grúas de muelle, se pueda coordinar con un sistema más lento como es el proceso de entrada y salida de los contenedores de la terminal portuaria. De este modo, se confirma el interés de los representantes, tanto de los buques como del puerto, que el sistema indirecto es el más

eficiente en terminales de contenedores, por lo que el estudio de las operaciones que se realizan en la zona de acopio es fundamental cuando se trata de este tipo de terminales.

Se reconocen dos formas básicas de manipular contenedores en el patio de almacenamiento: formación de pilas (stacking) y almacenamiento en semirremolques [Taleb-Ibrahimi, 1989].

En el primer sistema los contenedores son ordenados formando pilas de acuerdo a alguna política de eficiencia, cuya altura depende de la tecnología de los equipamientos de patio con que se cuente. Dichos equipamientos de patio son utilizados para servir tres requerimientos:

1. Carga y descarga de vehículos de transporte interno de la terminal
2. Carga y descarga de vehículos de transporte terrestre
3. Remoción de contenedores en las pilas

Los equipamientos de patio más usados en las terminales de contenedores para servir al subsistema almacenamiento son: grúas pórtico o pórticos de almacenamiento, carretillas pórtico y carretillas elevadoras. Si se estudia el subsistema almacenamiento para contenedores de importación con un modelo de simulación mucho más complejo que el empleado para el subsistema atraque, la zona de acopio es tratada como una caja negra que cuenta con una determinada capacidad de almacenaje y un número de recursos de transferencia allí instalados con sus respectivos tiempos de carga y descarga [González, 2007]. Lo anterior permite evaluar el grado de ocupación de las zonas de almacenamiento que puede lograrse mediante diferentes configuraciones de número y tipo de recursos. Como se puede apreciar, las referencias anteriores no incluyen el estudio de estrategias de operación para un mismo recurso y cómo éstas pueden variar, por ejemplo, el número de movimientos necesarios para la salida de un contenedor de la terminal y, por tanto, la capacidad de transferencia requerida en el almacenamiento.

2.2 Proceso de Importación

El Proceso de Importación comienza previo al arribo de la nave, con el envío del manifiesto de carga por parte de la naviera, donde entrega el listado de contenedores que serán descargados. Una vez que el terminal recibe las solicitudes, realiza la planificación de faena determinando, por rangos de turno, qué camiones serán atendidos para cada faena (recepción, despacho, consolidado y des consolidado). Al arribo de la nave al sitio de atraque predefinido, la Grúa Portuaria (Quay Crane) procede a la descarga de los contenedores de importación y éstos son trasladados a los sectores Pre-asignados, los cuales son segregados por carga directa, carga indirecta o contenedores vacíos (ver Figura 2.4).

Carga directa se le llama a la que va a ser retirada por el cliente dentro de un periodo de 24 horas antes del arribo del buque. Si los contenedores no han sido retirados antes de 48 horas antes del arribo se empieza a cobrar almacenaje.

Carga indirecta es la que no será retirada por el cliente dentro de las primeras 24 horas antes del arribo del buque, a la cual se le cobra almacenaje y donde puede estar sin ingresar un máximo de 90 días por ley.

Los contenedores vacíos son almacenados, para que el dueño los retire. El motivo de arribo de contenedores vacíos es para tener contenedores para exportación, ya que al enviar un contenedor de exportación, luego de que llegue a su destino, se tiene que traer vacío para poder exportar de nuevo. Cuando hay poco tiempo para efectuar el desembarque de contenedores, éstos son apilados en un sitio aledaño del muelle con el objetivo de minimizar el tiempo de descarga del buque, para luego ser trasladado al patio.

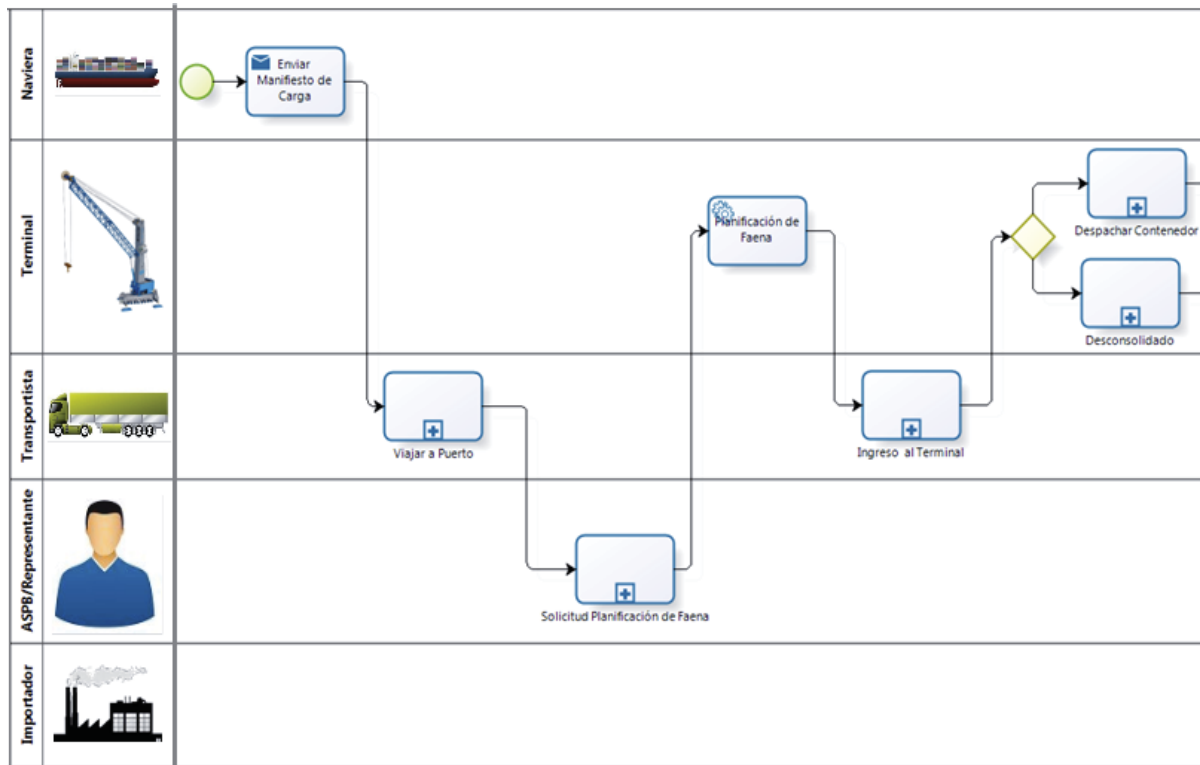


Figura 2.4 Proceso de Importación [InnovaChile, 2012]

2.3 Proceso de Exportación

El Proceso de Exportación empieza 72 horas antes del arribo del buque con la llegada de los contenedores al sector de Pre-stacking, el cual consiste en un espacio en el patio de contenedores reservado para recibir los contenedores traídos por los clientes, donde son ordenados según el plan de estiba del buque de destino. El plan de estiba está diseñado para mantener la estabilidad del buque, la cual considera el peso, el tipo y el destino del contenedor. Para esto los contenedores de exportación son almacenados teniendo presente su destino, peso, tamaño, tipo de carga si los contenedores son freeze o de carga peligrosa; todo esto influye en el momento de realizar la segregación del patio de contenedor. La segregación permite ordenar los contenedores y tenerlos agrupados de manera que no sea necesario buscar en diferentes sitios contenedores de una nave específica en el momento del embarque.

En el momento que el buque arriba al sector de atraque, los contenedores van siendo cargados en el tracto-camión para ser llevados al sector de la grúa portuaria, donde ésta toma los contenedores y los embarca en el buque.

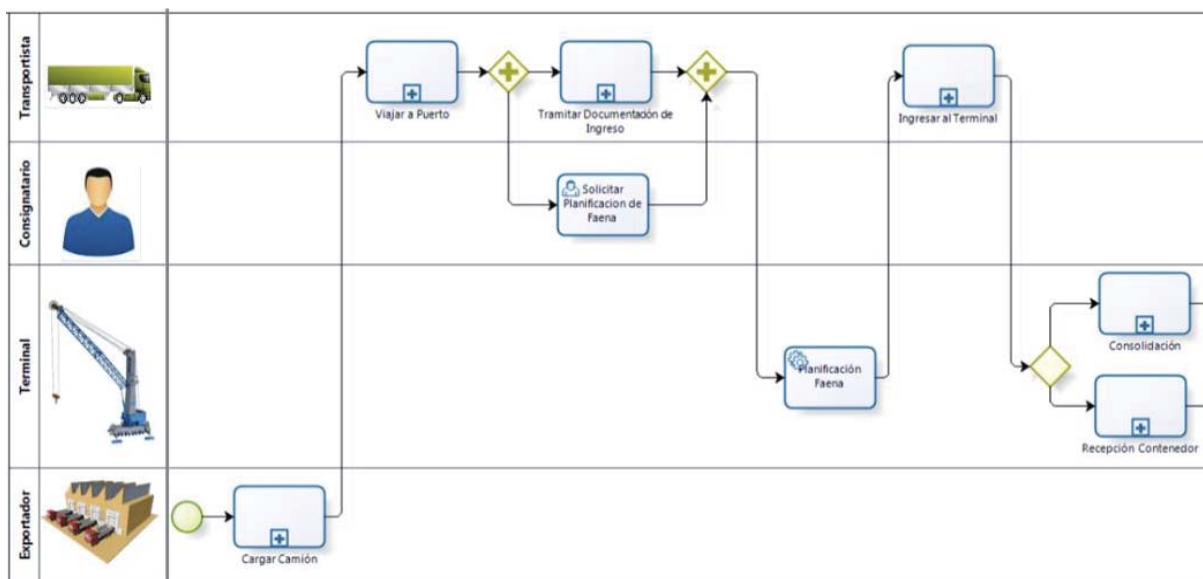


Figura 2.5 Proceso de Exportación [InnovaChile, 2012]

2.4 Layout del patio

El patio de contenedores se encuentra dividido en yardas (o sectores) para el almacenamiento de estos embalajes. En este lugar se utiliza el sistema BOROTI [Elorrieta, 2011], el cual consiste en que cada yarda se encuentra dividida en bays, rows y tiers (ver Figura 2.6).

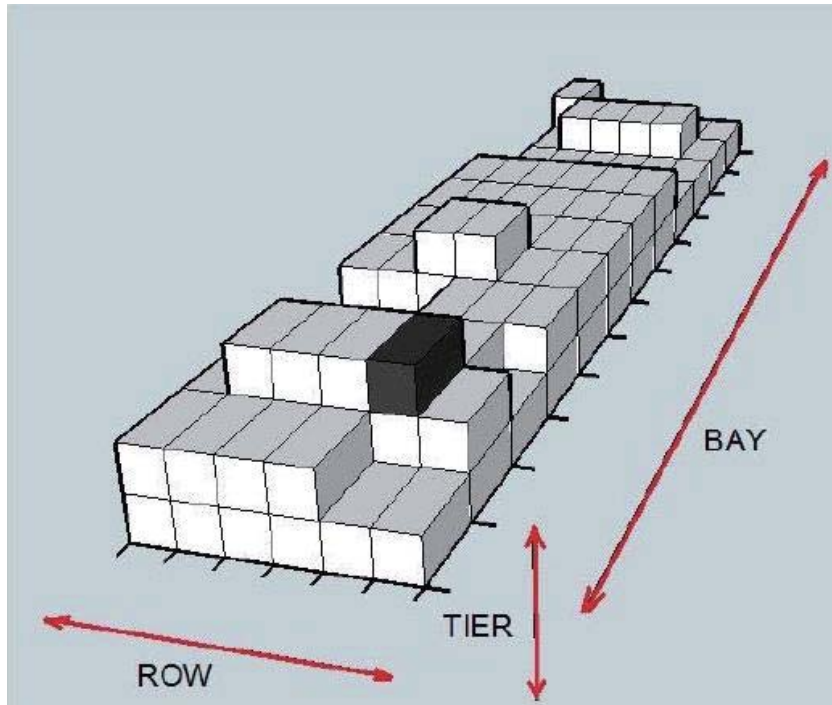


Figura 2.6 Esquema del sistema BAROTI [Elorrieta, 2011]

Al ingresar los contenedores al lugar de acopio, los sectores de almacenamiento van siendo llenados de un extremo a otro, siempre manteniendo la misma orientación, de derecha a izquierda o de izquierda a derecha.

2.5 Operación de las naves

El área de operación de naves es aquella que se dedica a designar los sitios de atraque y el tiempo estimado de arribo de la nave. Sin embargo, debido a que los buques muy pocas veces llegan a la hora estimada, el área de operación de nave tiene que reasignarle el sitio según la política de atención a las embarcaciones (ver Figura 2.7).

El área de operación [Elorrieta, 2011] de nave también cumple el rol de planificar las tareas de carga y descarga de una nave, la cual describe el orden en que los contenedores deben ser descargados y cargados, la que se denomina Programa de Trabajo o *Working Program* (WP).

PLANIFICACIÓN NAVIERA PUERTO SAN ANTONIO

Matriz de planificación								
Longitud	742 mts.			341 mts.		321 mts.		
Calado	44,29' / 13,50 mts.		37,20' / 11,34 mts.	37,20' / 11,34 mts.	31,00' / 9,45 mts.	31,00' / 9,45 mts.	26,02' / 7,93 mts.	20,60' / 6,28 mts.
	Sitio 1		Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	Sitio 7
18 mié	10:00 122m COLCA	14:00 168m MAPOCHO	HOKUETSU HOPE II	11:30 119m BBC EUROPE	07:50 186m RESOUNDER 21:30 23:00 200m LEO LEADER	SAN DU AO 21:00	PELICAN ARROW	
19 jue	04:30 07:00 294m MSC ROMANOS	05:00 13:30 14:30 222m CCNI AQUILES	HOKUETSU HOPE II	BBC EUROPE 12:00	LEO LEADER 15:00 15:30 119m BBC EUROPE	16:00 186m RESOUNDER	PELICAN ARROW 16:30 17:00 199m BARBET ARROW	
20 vie	06:30 07:00 MSC VITTORIA 23:59	06:30 325m 05:00 13:30 155m MARFRET DOUCE FRANCE 23:59	CCNI AQUILES	05:30 174m ALPACA I 23:57	BBC EUROPE 06:00 18:00 200m HOEGH OCEANIA	RESOUNDER 15:00	BARBET ARROW	
21 sáb					HOEGH OCEANIA 15:30 16:00 179m HOEGH KUNSAN	17:00 146m SAN DU AO	BARBET ARROW 23:00	

Figura 2.7 Planificación Naviera [URL 2, 2012]

2.6 Planificación y re-planificación del espacio

La distribución de [Covarrubias y Tapia, 2012] los contenedores se determina a partir de una planificación periódica, según el tipo de carga, el lugar de embarque de la carga, el puerto de destino y el orden según el plan de estiba del buque. En el caso de los contenedores de exportación, los sectores y subsectores del patio de contenedores están organizados para que los embalajes con características similares como tipo de carga, puerto de destino y buque asociado estén almacenados en el mismo sector. En el caso de contenedores de importación existe un sector pre-asignado, donde son depositados y separados en carga directa, carga indirecta y contenedores vacíos, ya definidos previamente.

Los tipos de carga que trasladan los buques son diversos, los cuales van desde contenedores de carga peligrosa, de reefer y vacíos, los que tienen un tamaño de 20 ó 40 pies de longitud. Los contenedores son almacenados dependiendo de su tipo, ya que cada contenedor tiene su requisito de mantención o de seguridad. Por ejemplo, el contenedor reefer necesita estar conectado a la red eléctrica para poder mantener el frío en su interior.

Como las naves por lo general no arriban exactamente a la hora esperada o incluso no llegan, se produce un cambio en la asignación de los sitios del patio, provocando como resultado que la planificación del patio de contenedores deje de ser una garantía de un mejor funcionamiento. Debido a ello se debe realizar una re-planificación con el objetivo de mejorar

la situación que se presenta con dichos cambios. Esta re-planificación pretende mantener la eficiencia del servicio, buscando re-asignar correctamente los espacios del patio de contenedores, ya que es uno de los factores de mayor relevancia en el puerto.

2.7 Desembarque de contenedores de los buques

Al desembarcar los contenedores de un buque no hay necesidad de crear segregaciones tan específicas como en el proceso de exportación, ya que los contenedores serán retirados como estén ordenados en el patio y la hora que determine el puerto.

El problema de segregación [Elorrieta, 2011] está dado por un tema de seguridad y protección del contenido del embalaje. Por ejemplo, algunos contenedores con productos peligrosos, como materiales inflamables, corrosivos o venenosos, tienen que seguir ciertas normas de seguridad y no pueden ser almacenados en el puerto, por lo cual deben ser despachados de forma inmediata.

Otro tipo de contenedores que deben ser segregados son los de tipo reefer, ya que éstos tienen que estar conectados a una red eléctrica para mantener el frío en su interior, pues no se puede romper la cadena de frío del producto.

3 Sistema Multiagente

En el presente capítulo se abordará los conceptos más importantes del Sistema de Multiagente, sus características, metodología de desarrollo, arquitectura e infraestructura.

3.1 Descripción de Agente

No existe una sola definición para el término agente. Una de ellas lo señala como “*Un proceso computacional autónomo, con iniciativa y capacidad de explorar y modificar su entorno y con posibilidad de comunicarse con otros agentes*” [URL 3, 2000]. También se lo define como “*Un sistema informático que se sitúa en un cierto ambiente y que es capaz de acción autónoma en este ambiente para lograr sus objetivos de diseño*” [Wooldridge, 2009]. De acuerdo a estas definiciones, se puede decir, por lo tanto, que un agente es capaz de realizar acciones de forma autónoma e interactuar con su entorno.

En la Figura 3.1 se muestra un agente que percibe su entorno y consta de acciones predefinidas para realizar y modificar su entorno.

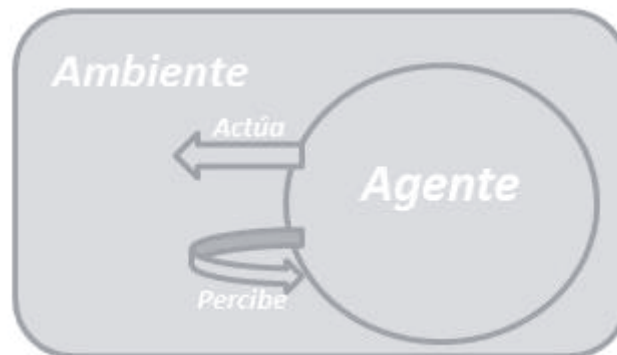


Figura 3.1 Interacción agente/entorno [Elab. Propia]

Un agente inteligente se puede definir como “*Cualquier proceso computacional dirigido por el objetivo capaz de interactuar con su entorno de forma flexible y robusta*” [Wooldridge, 2009], donde flexible se entiende que debe poseer tres características:

- **Reactividad:** Capacidad de percibir el entorno y responder de manera oportuna a los cambios del entorno.
- **Capacidad social:** Los agentes interactúan con otros agentes a través de un lenguaje en común (como los seres humanos).
- **Pro-actividad:** Son capaces de tomar la iniciativa guiados por los objetivos que deben satisfacer.

Otras propiedades que un agente debe tener son:

- **Autonomía:** Los agentes actúan de forma independiente sin intervención humana y tienen control de sus acciones y estado interno.
- **Movilidad:** Habilidad de un agente de moverse en una red electrónica.
- **Veracidad:** La información entregada por un agente es real y auténtica.
- **Benevolencia:** El agente no tiene metas conflictivas y siempre tratará de hacer la tarea que se le solicita.
- **Racionalidad:** El agente actuará en orden de conseguir sus metas, y no intentará no llevarlo a cabo.
- **Adaptabilidad:** El agente aprende y puede cambiar su comportamiento basándose en lo aprendido.

3.2 Arquitecturas de agentes

Una arquitectura de agente [Weiss, 1999] especifica cómo se descomponen los agentes en un conjunto de módulos que interactúan entre sí para llevar a cabo su objetivo. Donde la arquitectura dependerá de las tareas y el entorno donde éstas se desarrollen. Principalmente existen tres clases de arquitectura, que son:

3.2.1 Arquitecturas Reactivas

Un agente reactivo es aquel que al percibir un estímulo del entorno realiza una acción de acuerdo al estímulo. Son agentes sencillos, compactos, tolerantes a los fallos y sobre todo flexibles, lo cual le permite operar con rapidez y efectividad, sin la necesidad de procesar una representación simbólica del entorno, ya que no poseen modelos simbólicos externos del entorno en el que se encuentran.

Un agente reactivo, cuando percibe un estímulo en uno de sus sensores, envía la información al módulo de competencia, en donde existen módulos encargados de tareas claramente definidas, donde éste la procesa y se la envía a los actuadores para que realicen la acción como se muestra en la Figura 3.2.

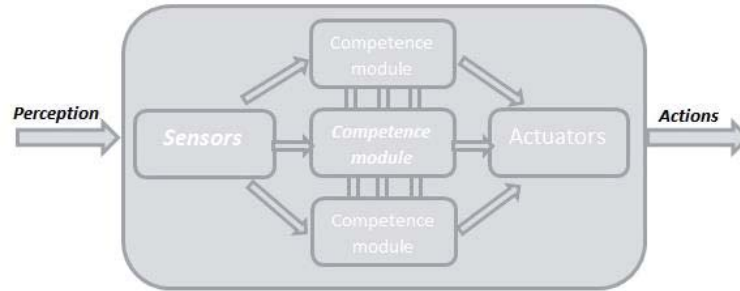


Figura 3.2 Arquitectura Reactiva [Elab. Propia]

Las arquitecturas reactivas presentan las siguientes ventajas [Weiss, 1999]:

- Simplicidad.
- Economía.
- Eficiencia Computacional.
- Robustez ante fallos.

Y los siguientes inconvenientes:

- Es necesaria gran cantidad de información local.
- El aprendizaje es problemático.
- La construcción de agentes reactivos requiere experimentación, por lo que se necesita gran cantidad de tiempo.
- La construcción de sistemas grandes es imposible.
- Los sistemas reactivos únicamente pueden ser utilizados para su propósito original.
- Existen pocas aplicaciones basadas en estas arquitecturas.

3.2.2 Arquitecturas Deliberativas

Los agentes con una arquitectura deliberativa [Sycara, 1998] son aquellos que contienen un modelo simbólico del mundo, explícitamente representado, en donde las decisiones se toman utilizando mecanismos de razonamiento lógico basados en la correspondencia de patrones y la manipulación simbólica, con el propósito de alcanzar los objetivos del agente.

Los agentes deliberativos tienen la capacidad para llevar a cabo decisiones lógicas utilizando el conocimiento que han adquirido y modificando su estado interno, que frecuentemente se denomina estado mental.

El estado mental de un agente deliberativo o también llamado agente BSI (*Belief, Desire, Intention*) está compuesto por cinco componentes (ver Figura 3.3):

- Creencias: Apreciación del agente sobre el entorno a partir de las percepciones.
- Deseos: Objetivos que el agente desea cumplir a largo plazo.
- Metas: Concreción de un subconjunto de deseo que el agente puede conseguir.
- Intenciones: subconjunto de metas que el agente pretende conseguir.
- Planes: secuencia de intenciones ejecutadas para cumplir un objetivo.

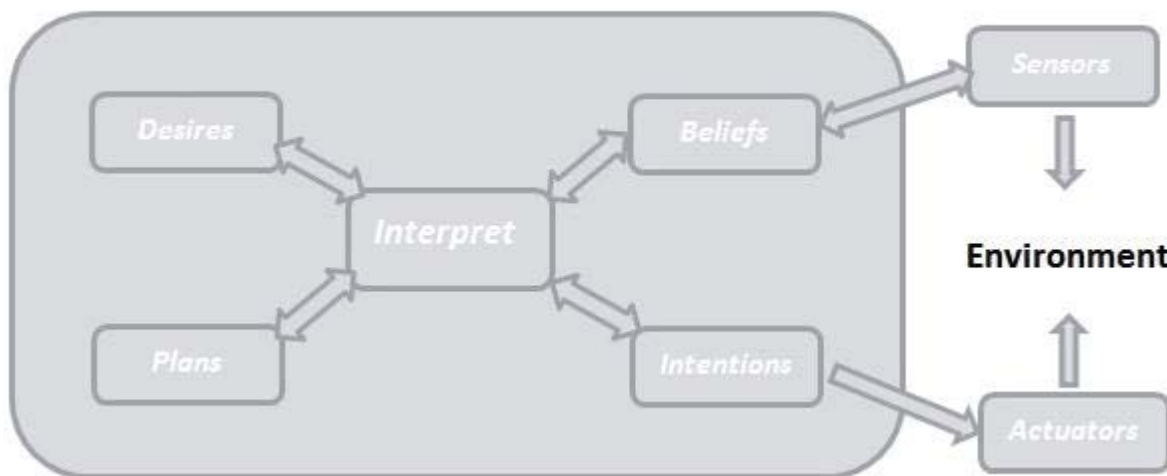


Figura 3.3 Arquitectura Deliberativa [Elab. Propia]

Las arquitecturas deliberativas presentan las siguientes ventajas [Weiss, 1999]:

- Tecnología familiar.
- Metodología clara.
- Muchas teorías adecuadas.
- Algunas facilitan la construcción de sistemas sociales y cooperativos en los que existen muchos agentes autónomos.
- Se puede introducir fácilmente un mecanismo de aprendizaje.
- Permiten la construcción de agentes realmente autónomos.

Y los siguientes inconvenientes:

- Problemas para actualizar a tiempo el conocimiento, sobre todo en entornos de tiempo real altamente dinámicos en los que los recursos no están disponibles o son limitados.
- Problemas a la hora de traducir el entorno a una representación simbólica.

3.2.3 Arquitecturas Híbridas

Las arquitecturas híbridas [Sycara, 1998] combinan componentes de tipo reactivo con componentes de tipo deliberativo. La parte reactiva interactúa con el entorno y reacciona rápidamente a los eventos que en él se producen sin invertir tiempo en realizar razonamiento, mientras que la parte deliberativa planifica y se encarga de la parte de toma de decisiones; es decir, realiza tareas a un nivel de abstracción superior (ver Figura 3.4).

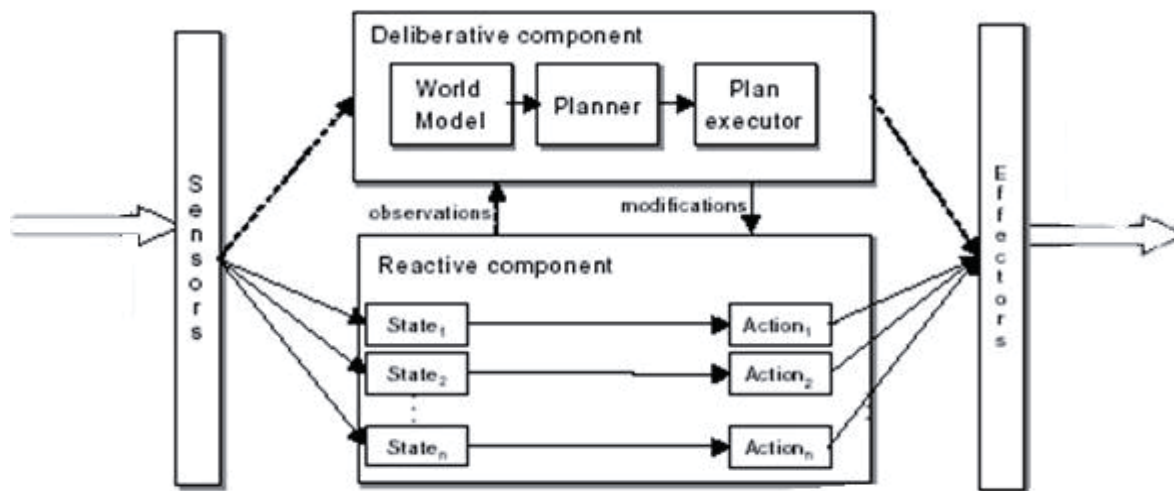


Figura 3.4 Arquitectura Híbrida [Sycara, 1998]:

Las arquitecturas híbridas presentan las siguientes ventajas [Weiss, 1999]:

- Combinan las ventajas de arquitecturas deliberativas y las ventajas de arquitecturas reactivas.

Y los siguientes inconvenientes:

- No hay consenso claro pero sí muchas similitudes.
- No hay ni metodología ni teoría formal que la soporte.
- Muy difíciles de generalizar.
- Muy difícil reproducir sus resultados en diferentes dominios.

3.3 Lenguajes de agentes

Los lenguajes de agentes [Iglesias, 1998] se definen como lenguajes que permiten programar agentes con los términos desarrollados por los teóricos de agentes. Podemos distinguir dos tipos principales de lenguajes de programación:

- Lenguajes de agentes de propósito general: lenguajes destinados a programar agentes genéricos utilizables en cualquier aplicación.
- Lenguajes de agentes específicos: lenguajes para un tipo de agentes específicos.

Se pueden distinguir los siguientes niveles de abstracción en la programación de agentes:

- Lenguajes de programación de la estructura del agente: permiten programar las funcionalidades básicas para definir a un agente, como funciones de creación de procesos y funciones de envío y recepción de mensajes.
- Lenguajes de comunicación de agentes: definición del formato de los mensajes intercambiados, de las primitivas de comunicación y de los protocolos disponibles.

3.3.1 Lenguajes de programación de la estructura del agente

Este nivel de programación [Iglesias, 1998] normalmente sólo es utilizado por los desarrolladores de una plataforma de desarrollo de agentes. Los lenguajes empleados suelen ser lenguajes de propósito general o lenguajes específicos.

Lenguajes de comunicación de agentes

Podemos distinguir dos tipos de lenguajes de comunicación:

- Procedimentales: se basan en el intercambio de directivas procedimentales, es decir, un agente recibe un mensaje que implica la ejecución de un procedimiento. Son especialmente útiles para la construcción de agentes en aplicaciones tales como agentes de usuario o agentes móviles.
- Declarativos: se basan en el intercambio de actos comunicativos, es decir, un agente recibe un mensaje con un acto comunicativo que le permite interpretar el contenido del mensaje. El ejemplo más extendido de este enfoque es KQML.

Lenguajes de programación del comportamiento del agente

Los lenguajes de descripción de agentes permiten la programación de los agentes: definición de su estructura, conocimiento y habilidades.

Podemos distinguir diferentes niveles de descripción [Iglesias, 1998]

- Lenguajes de descripción de agente: los agentes se derivan de una clase de agente genérica, permitiendo la definición de los elementos básicos del modelo de agente tales como base de conocimiento, grupos de agentes, habilidades del agente, servicios ofrecidos, planes para alcanzar objetivos.
- Lenguajes de programación basados en el estado mental: siguiendo el paradigma de Shoham de la programación orientada a agentes (AOP), se han definido algunos lenguajes que tienen en cuenta el estado mental del agente para programar las funciones de transición entre estos estados mentales, que consisten en creencias, capacidades y obligaciones
- Lenguajes basados en reglas de producción: la programación de la base de conocimiento de los agentes se realiza en algunos sistemas empleando reglas de producción, que permite definir las conductas del agente con reglas.
- Lenguajes de especificación: emplean una especificación (normalmente lógica) del agente que se ejecuta directamente para generar su conducta, pudiendo verificar propiedades de la especificación.

3.4 Sistemas Multiagente

Un Sistema Multiagente (SMA) [Weiss, 1999] es un sistema donde dos o más agentes se relacionan e interactúan entre sí, para resolver un determinado problema que está más allá de sus capacidades individuales. En un Sistema Multiagente cada agente posee un conocimiento limitado del problema, lo que le permite resolver una parte del problema y sólo la colaboración entre los agentes del sistema permitirán resolverlo.

Un Sistema Multiagente tiene las siguientes características:

- Los agentes tienen información y capacidad incompleta para resolver el problema, por lo tanto, su punto de vista es limitado.
- No existe un sistema de control global.
- Los datos son descentralizados.

3.4.1 Ventajas del uso de los Sistemas Multiagente

Un Sistema Multiagente es robusto, ya que permite la creación de programas dinámicos (instalar nuevas aplicaciones sin necesidad de paralizar el sistema), y la capacidad de que las piezas de software distribuidas en diferentes computadoras se puedan comunicar entre ellos para intercambiar información a través de un lenguaje común.

Los Sistemas Multiagente ofrecen escalabilidad, ya que son cien por ciento modulares, de tal manera que es fácil agregar un nuevo agente al sistema y éste se adapta sin por ello requerir

de ajuste alguno o rescribir todo el sistema. Por lo que diseñar un Sistema Multiagente para el problema de YAP conlleva mayores ventajas que desventajas.

3.4.2 Interacciones entre agentes de Sistemas Multiagente

La interacción entre agentes en un SMA [Corchado, 2002] es necesaria para poder lograr un objetivo en común. Esta interacción se lleva a cabo intercambiando información entre agentes similares o diferentes dentro del mismo entorno, donde el intercambio de información puede ser de la siguiente forma:

- Comunicación entre los agentes mediante mensajes.
- Percepción de los cambios del entorno debido a la acción de otros agentes.

Si un agente obtiene conocimiento sobre otros agentes, puede ser capaz de reconocer las acciones e inferir las decisiones de dichos agentes.

3.4.3 Infraestructura de Agentes

La infraestructura de agentes nos permite definir regulaciones que deben cumplir los agentes para poder comunicarse y entenderse, la cual se compone de tres tipos:

Ontologías: Se preocupa de brindar un significado común a los conceptos para que todos los agentes entiendan lo mismo.

Lenguajes de comunicación: Es un protocolo de comunicación definido, que permite a los agentes comunicarse y entenderse.

Protocolos de interacción: Define la estructura de la secuencia de intercambio de información (mensajes) entre agentes.

3.5 Arquitectura FIPA

La arquitectura FIPA nace de la necesidad de tener estándares que ayuden al desarrollo de agentes y facilitar la interconexión e integración de estos en entorno heterogéneo. FIPA es un acrónimo de “*Foundation for Intelligent Physical Agents*” y resulta ser la organización que más trabaja en el tema. En sus especificaciones se definen las características que deben cumplir las plataformas de gestión de Sistemas Multiagentes, la cual se centra en el comportamiento externo, dando libertad en el diseño del sistema.

La plataforma de agentes es el núcleo de FIPA y proporciona la infraestructura para el desarrollo de los agentes. Los componentes de la plataforma son las siguientes:

- Sistema de Gestión de Agentes (AMS): El AMS es el elemento de gestión principal, el cual conoce en todo momento los agentes que pertenecen a ella y el estado de su plataforma. Dentro de los servicios que ofrece ésta están creación, destrucción y control

del cambio de estado de los agentes; supervisión de los agentes, control de los movimientos de los agentes, gestión de los recursos compartidos y gestión del canal de comunicación.

- Facilitador de Directorio (DF): Apoya al AMS buscando a los agentes no sólo por el nombre, sino por el servicio que ofrece.
- Sistema de Transporte de Mensaje (STM): Se encarga de gestionar el envío de mensajes ACL (Agent Communication Language) entre agentes ubicados en plataformas distintas.

3.5.1 Seguridad en el desarrollo de Sistemas Multiagente

Los problemas de seguridad son inherentes a cualquier sistema distribuido y más aún en Sistemas Multiagente, ya que los agentes cuentan con ciertas características de autonomía y un alto grado de colaboración y cooperación que pueden existir entre los distintos agentes.

FIPA están basadas [Corchado, 2002] en la utilización de los estándares existentes siempre que esto sea posible. Por ejemplo, se plantea el uso del estándar de seguridad X.509 basado en infraestructuras de seguridad de clave pública (PKI). El estándar X.509 presenta un modelo de seguridad asimétrico o basado en certificados de clave pública y clave privada. Para cada entidad se definen dos tipos de claves, la clave privada a la que sólo tiene acceso la entidad propietaria del certificado, y la clave pública a la que tienen acceso todas las demás entidades de la sociedad.

Este modelo de seguridad se presenta a nivel de agentes. Son posibles otros modelos de seguridad de más bajo nivel como el uso de sockets seguros, SSL (Secure Socket Layer), a nivel de la capa de transporte.

Otros problemas que pueden surgir en la comunicación entre agentes o su despliegue, y que contempla FIPA, son los siguientes [Corchado, 2002].

- Copia de código y datos: Los sistemas de agentes se suelen implementar usando lenguajes interpretados como Java o TCL para conseguir una mayor portabilidad e interoperabilidad. Pero esto supone que el código y los datos usados son fácilmente accesibles y reproducibles.
- Alteración de código y datos: De forma similar a la copia, la alteración de código y datos de un agente puede ser un problema potencial. Una plataforma de agentes puede estar preparada para atacar a los agentes que lleguen a ella.
- Ataques en grupo: Aunque una plataforma está protegida ante el ataque de algún agente con malas intenciones, son posibles otros tipos de ataque en grupo complicados de evitar.

- **Copia y reenvío:** Un mensaje puede ser copiado y enviado a otros agentes no incluidos en la lista de destinos del mismo.
- **Denegación del servicio:** Una plataforma de agentes puede negar ciertos servicios a un agente sin motivo aparente.
- **Rechazo de responsabilidad:** Es muy complicado repartir responsabilidades cuando ocurre un problema. Una plataforma o agente puede actuar de forma maliciosa y no admitir su responsabilidad.
- **Mascarada:** Un agente puede hacerse pasar por otro en una conversación para obtener información o para acceder a servicios que de otra forma no tendría acceso.
- **Liquidez:** En algunos entornos se han creado sistemas de pago (tickets) para que un agente tenga que pagar para conseguir un servicio. Esto implica que se debe gestionar la liquidez de los agentes y que el proveedor del servicio ofrezca tal servicio una vez cobrado.

3.5.2 Movilidad de Agentes en la Plataforma

FIPA [Corchado, 2002] no propone soluciones tecnológicas, sino más bien aporta ideas acerca de cómo integrar de forma homogénea y natural las capacidades de los agentes móviles dentro de la plataforma. La interoperabilidad entre sistemas es muy importante en este campo, pues si dos sistemas de distinto origen no pudiesen intercambiar agentes la movilidad no sería aprovechable. Cuando se trata de agentes móviles podemos trabajar con dos soluciones, más o menos complejas de llevar a cabo:

- **Migración:** Este modelo es más complejo, pues requiere la transferencia de código y datos del agente a la plataforma remota. Cuando un agente va a migrar se "suspende", se transfiere por la red y se "despierta" en el otro extremo, prosiguiendo la ejecución de sus tareas en el mismo punto donde las había dejado.
- **Clonación:** En este caso se crea una copia del agente en el nodo remoto que se encarga de hacer el trabajo solicitado por su clon en la máquina origen. En este caso no hay una transferencia efectiva de código y datos, sino sólo un conjunto de órdenes que el clon debe realizar.
- **Modelo Simple:** El AMS (Agent Management System) es el responsable de realizar toda la gestión necesaria. El agente solicita a su AMS la transferencia y éste se ocupa de llevarla a cabo.
- **Modelo Complejo:** El agente es el responsable de realizar todas las operaciones que le permiten desplazarse a la plataforma remota.

3.5.3 Infraestructura de agentes

La infraestructura de agentes es un aspecto básico a considerar dentro de una arquitectura multiagente, pues es la que permitirá definir las regulaciones que deben cumplir los agentes para comunicar y entenderse. Estas regulaciones se componen de tres tipos:

- **Ontologías:** se preocupa de brindar un significado común de los conceptos para lograr acuerdo y entendimiento entre los agentes.
- **Lenguajes de Comunicación (ACL's):** permite a los agentes comunicar y entenderse a través del intercambio de mensajes, mediante protocolos de comunicación definidos.
- **Protocolos de Interacción (AIP's):** Proporcionan convenciones para las interacciones entre agentes, las cuales permiten a éstos poder conversar, es decir, intercambiar mensajes estructurados.

3.5.3.1 Ontologías

Una ontología corresponde a un modelo que determina una comprensión compartida de un cierto dominio de interés, y define conceptos de un dominio en particular (visión de mundo), la cual puede ser entregada en forma de lenguaje natural, lo que resultaría en una definición informal. Para poder darle formalidad a esta definición, se debe ocupar un lenguaje de formulación de ontología. Éstos deben cumplir con permitir compartir ontologías, considerar el ciclo de evolución de ellas, apoyar la interoperabilidad, detectar inconsistencias y brindar expresividad. Generalmente una ontología posee:

- Clases: elementos generales en los dominios interesados
- Propiedades: cualidades de estas clases.
- Relaciones: interrelaciones entre los elementos (clases) involucrados.
- XOL: Ontology eXchange language, US bioinformatics community.
- SHOE: Simple HTML. Ontology extension, university of Maryland.
- OML: Ontology markup language, university of Washington.
- DAML: DARPA Agent Markup Language, DARPA project.
- OIL: Ontology Interchange Language, OntoKnowledge project.
- DAML + OIL: W3C
- OWL: Web Ontology Language, W3C.

4 Revisión de Literatura

El objetivo de la revisión de esta literatura es poder obtener ideas que permitan desarrollar un modelo enfocado a la problemática, buscando establecer características comunes entre los modelos y el modelo que será desarrollado, tanto en su definición, como en la metodología de resolución.

Las operaciones en puertos de contenedores han sido ampliamente investigadas por varios autores. Se ha realizado un resumen de los estudios referentes a las operaciones en un puerto de contenedores según el espacio físico del puerto en que se desarrollan, es decir, separando las distintas actividades en operaciones de muelle, operaciones de patio y operaciones relacionadas con la entrada y salida de carga hacia la interfaz con tierra. Por otro lado, podemos mencionar el trabajo de [Vis y Koster, 2002], quienes efectúan un estudio del transbordo de contenedores en un terminal de carga, analizando cada una de las etapas de los procesos que se realizan en un puerto de contenedores.

Respecto a los modelos relacionados con las operaciones en el muelle [Imai et al, 2007], se han dedicado principalmente a proponer modelos para la asignación de naves a sitios de atraque (Berth Allocation Problem). Algunos autores como [Legato, 2008] se han dedicado al estudio del problema de determinación de tareas para grúas de muelle a las naves (Quay Crane Scheduling Problem).

En lo que respecta a la planificación en patio, [Taleb-Ibrahimi, 1990] desarrolla modelos para la asignación de espacios en un terminal de contenedores. Dentro de la literatura referente a los problemas de Gestión de Patios de contenedores, algunos de los autores en la literatura revisada se orientan a la asignación de bloques de almacenamiento en los patios de contenedores, otros en cambio se orientan a la asignación y programación de los recursos en patio.

Un estudio realizado por [Salido, 2010] propone un modelo integrado entre el problema de asignación de sitios a naves (Berth Allocation Problem, BAP) y el problema de almacenamiento de contenedores (Container Stacking Problem, CSP). En una primera etapa propone la resolución independiente de ambos modelos y luego desarrolla un método que le permite resolver el problema integrado. Cabe destacar que en el modelo propuesto para el CSP los autores consideran como objetivo la minimización de los reordenamientos de los contenedores.

El modelo que propone [Zhang et al, 2003] aborda el problema de asignación de espacios a los contenedores tanto de importación como de exportación, buscando aumentar la productividad del puerto mediante el balanceo de cargas de trabajo en cada uno de los sitios en los cuales existen grúas de patio del tipo RTG. Para resolver este problema proponen un modelo de dos niveles en el cual distinguen 4 tipos de contenedores: los contenedores

descargados de las naves, los contenedores de importación que llegan al stacking en camiones, los contenedores que son cargados en las naves y los contenedores que son despachados en camiones desde el patio. El objetivo está basado en minimizar los tiempos de atención a las naves mediante el balanceo de la carga de trabajo de las grúas de patio en cada uno de los bloques. En el primer nivel, se determina el número total de contenedores que se colocan en cada bloque de almacenamiento durante cada periodo de tiempo, para lo cual se presentan algunas restricciones de conservación de flujo para cada tipo de contenedor por bloques, considerando los contenedores que están asignados desde el período anterior y establecer el inventario entre un período y otro. En este nivel no se hace una distinción entre los contenedores de una nave y otra. El segundo nivel busca minimizar los costos por movimiento de contenedores desde los lugares de acopio hasta su sitio de embarque en el muelle, determinando la cantidad de contenedores por nave a ser colocados en cada bloque con base en las decisiones tomadas en el primer nivel. En cuanto al método de resolución utilizan un esquema de horizonte rodante, en el cual para cada horizonte descomponen el problema en los dos niveles antes descritos, utilizando CPLEX 7.0 para resolver cada uno de los problemas. La primera diferencia es que a pesar de que ambos problemas se basan en la necesidad de ordenar los contenedores en el patio buscando disminuir el tiempo de estadía de las naves en puerto, el modelo de [Zhang et al, 2003] establece como objetivo para su primer nivel el balance de las cargas de trabajo en cada uno de los bloques, no distinguiendo la nave en que los contenedores serán embarcados o descargados. Para calcular esto se determina la distancia entre los bloques en que son colocados los contenedores de un mismo tipo.

El objetivo planteado en el segundo nivel por [Zhang et al, 2003] está dado por la disminución de las distancias entre los lugares de acopio de los contenedores y su sitio de embarque. Otra característica que se presenta en el modelo del presente trabajo es el hecho de que los contenedores de cierto tipo sólo pueden ser asignados a lugares predeterminados, dadas sus características (contenedores con carga peligrosa y contenedores tipo reefer).

Respecto a la tecnología de Multiagente y operaciones en el puerto de contenedores, la tesis "*Desarrollo de un Sistema Multiagente para el Berth Allocation Problem*" [Díaz, 2010] desarrolla un Sistema Multiagente basado en una arquitectura con modelado PASSI, el cual busca disminuir el tiempo de espera de los busques al momento de asignar el lugar de atraque, que utiliza la ventana de tiempo para poder evaluar y asignar los lugares de atraque.

5 Desarrollo del Proyecto

En este capítulo se describirá el Sistema Multiagente propuesto para resolver el problema de asignación de patio, donde se desarrolla un prototipo de sistema que busca minimizar los costos, a través de la disminución del tiempo de espera y evitando movimientos innecesarios de los contenedores dentro del lugar de acopio. También pretende establecer restricciones que permitan asignar los contenedores de exportación de manera más eficiente en el patio de contenedor.

5.1 Descripción de la Propuesta

La propuesta consiste en diseñar un Sistema Multiagente basándose en el Terminal Portuario de Arica y en forma particular del proceso de exportación, por lo tanto sólo se utilizará los sitio de acopio destinados para la exportación en el Terminal Portuario de Arica. Esto permitirá tener un análisis más representativo de la realidad que vive día a día el terminal portuario.

5.2 Alcance de la Propuesta

A continuación se mencionará algunos alcances de la solución propuesta que permitirán delimitar el sistema a desarrollar.

- El sistema propuesto sólo se centrará en el proceso de exportación, en la recepción, en el acopio y entrega de los contenedores a las naves.
- Los parámetros (N° de sectores, capacidad, tipo y distancia entre ellos) de los sectores de almacenamiento se basarán en los datos reales del Terminal Portuario de Arica.
- Se busca optimizar el movimiento de los contenedores dentro de los sectores de almacenamiento y optimizar los traslados de ellos a los lugares de embarque. Por último, se realizará una comparación de los dos procesos y el impacto que tiene entre ellos.

5.3 Diseño del Sistema

5.3.1 Descripción de Dominio

En este modelo se presenta una visión general del sistema, como las funcionalidades principales, la recepción de contenedores, la reserva, la planificación del almacenamiento de los contenedores, etc.

selecciona la mejor alternativa basándose en las características de los contenedores y el lugar de embarque de la nave; también es el responsable de llevar la bitácora de los contenedores que llegan, salen y los sectores que componen el patio de contenedores.

- Los Agentes Export Sector son los encargados de almacenar los contenedores de exportación, el agente recibe una solicitud del agente Export Manager para almacenar el contenedor, el cual evalúa dicha solicitud, buscando la mejor alternativa. El agente Export Sector responde con una propuesta y espera adjudicarla para reservar dicho sector. Una vez adjudicada marca los lugares reservados, hasta que lleguen dichos contenedores al lugar de almacenamiento. Luego el Agente Export Manager le comunica el retiro de los contenedores para su embarque.
- Agente Quay Crane recibe el comunicado de arribo de la nave, éste le informa al agente Export Manager para que envíe los contenedores pertenecientes a dicha nave.

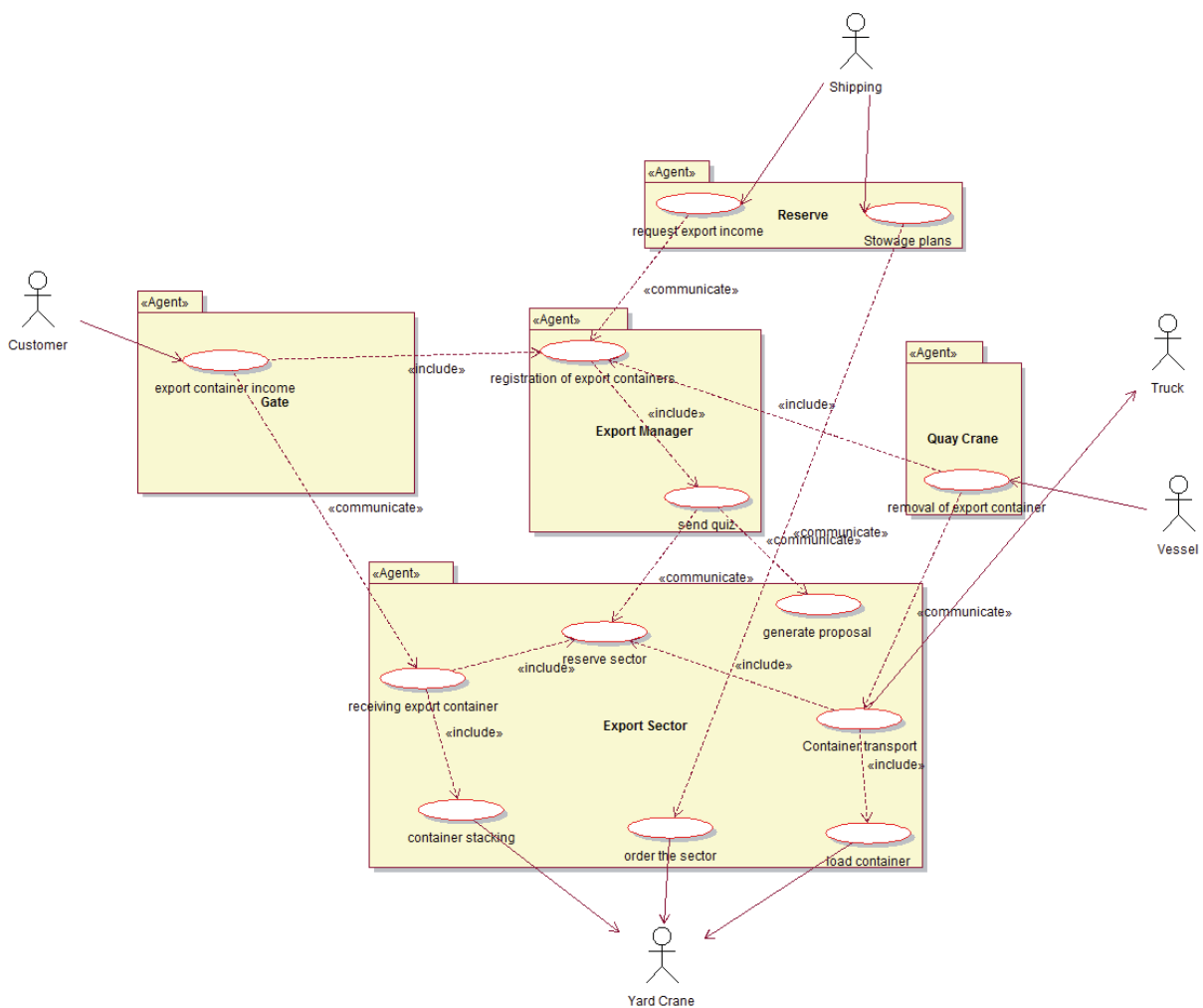


Figura 5.2 Identificación de Agente para YAP [Elab. Propia]

5.3.3 Identificación de Roles

En la Figura 5.3 se muestra el modelo PASSI de identificación de roles para el escenario en el que se realiza la reserva de sector de patio para los contenedores de exportación. En este diagrama se puede ver que el encargado de iniciar es el agente Gate que recibe la petición de exportación del actor Customer, el cual es comunicado al agente Export Manager. El agente Export Manager crea una solicitud que es enviada a los agentes Export Sector, donde ésta es evaluada y luego se busca la mejor alternativa del sector, luego es enviada la propuesta al agente Export Manager, para que revise todas las propuestas y elija la más óptima teniendo en cuenta las características de los contenedores.

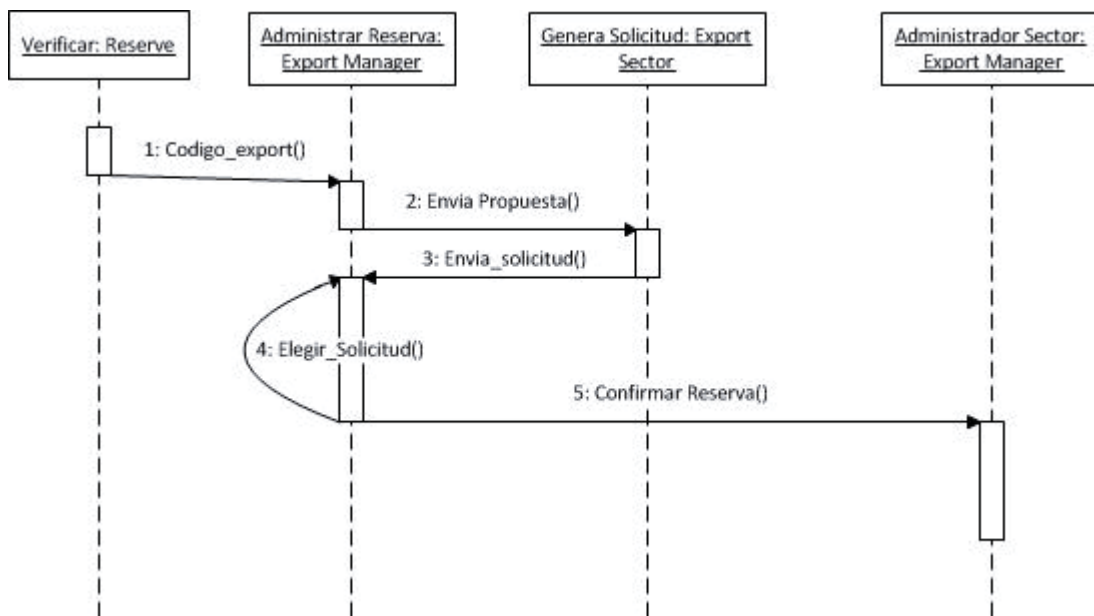


Figura 5.3 Modelo de Identificación de Roles – Reserva de Sectores de Exportación [Elab. Propia]

En la Figura 5.4 se presenta el modelo PASSI de identificación de roles para el caso del retiro de los contenedores de exportación. En el diagrama se puede apreciar que el actor Vessel le solicita a los agentes Quay Crane el retiro de contenedores, el cual le solicita el traslado de los contenedores al agente Export Sector; éste le comunica a Export Manager y al actor Truck para que realice el traslado del contenedor.

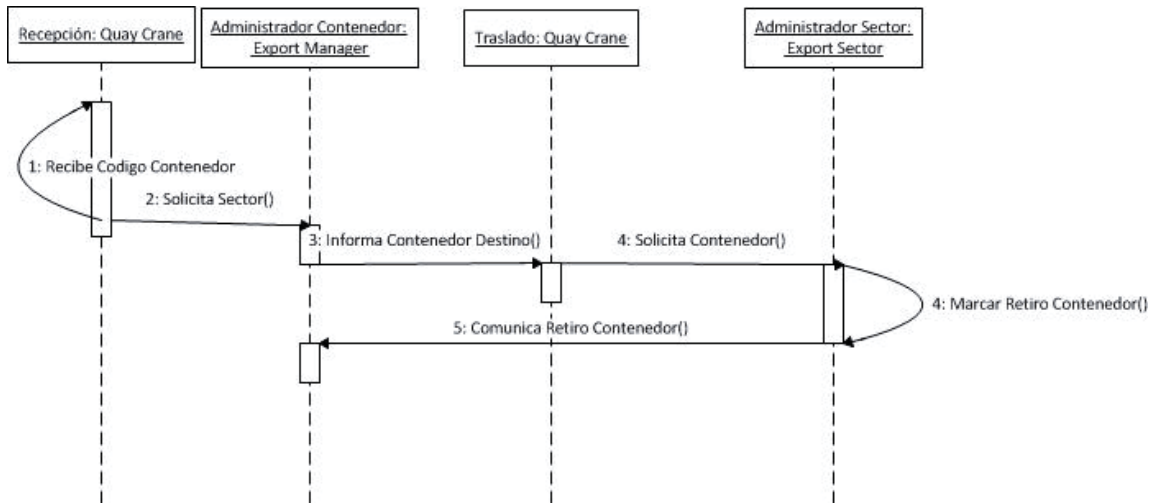


Figura 5.4 Modelo de Identificación de Roles – Embarque de Contenedor de Exportación [Elab. Propia]

En la Figura 5.5 se presenta el caso donde ingresa un contenedor de exportación, se puede apreciar que el ingreso del contenedor se inicia por el agente Gate, el cual solicita al agente Export Manager que le envíe la información del agente Export Sector que va a almacenar dicho contenedor para su envío, una vez recibido por agente Export Sector éste le confirma la llegada del contenedor al agente Export Manager.

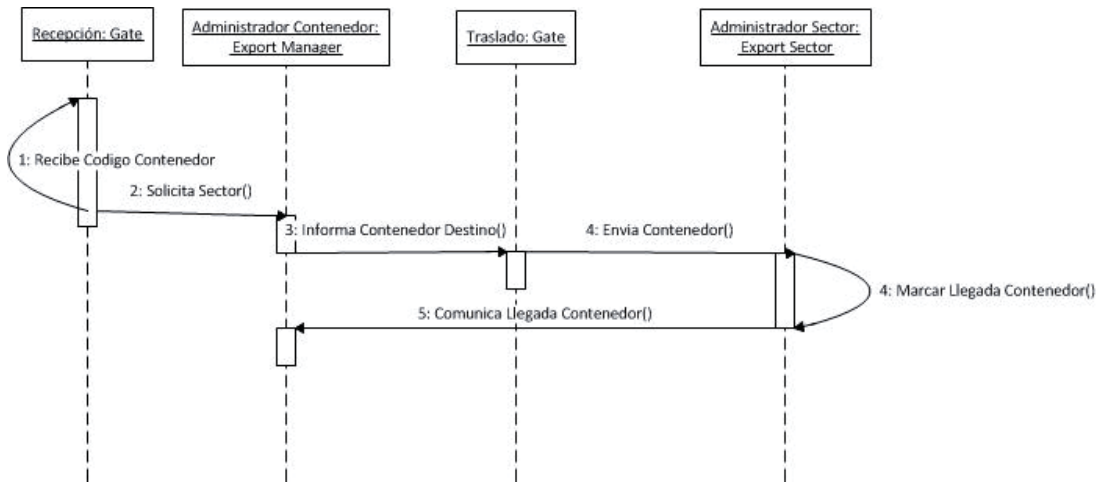


Figura 5.5 Modelo de Identificación de Roles – Ingreso de Contenedores de Exportación [Elab. Propia]

5.3.4 Descripción de Protocolos

FIPA-request protocol: Se usa cuando un agente pide a otro que realice una acción. El destinatario puede aceptar o rechazar la petición, y en caso de aceptarla, deberá realizar la acción y notificar la finalización. En este caso los Agentes Gate y Quay Crane le solicitan el ingreso o el retiro de contenedores a los Agentes Manager.

FIPA-Contract Net protocol: Se utiliza cuando un agente quiere que uno o más agentes realicen una acción, efectuando una especie de encuesta, pidiendo propuestas a los distintos agentes. En la petición se especifica la acción a realizar y algunas precondiciones a la hora de hacer las propuestas. Los agentes consultados envían sus propuestas al agente iniciador, también indicando las condiciones de la propuesta. Éste las estudia y elige las que le convienen, rechazando el resto. El protocolo requiere que el agente iniciador sepa cuándo ha recibido todas las propuestas. Como esto podría llevar mucho tiempo en caso de que un agente tarde más de la cuenta, se da un tiempo límite para responder, y las propuestas que lo hagan más tarde, serán rechazadas. En este caso los Agentes Manager le envían la propuesta a los Agentes Sector para que éstos envíen sus solicitudes para adjudicarse el contenedor.

5.3.5 Descripción de Roles

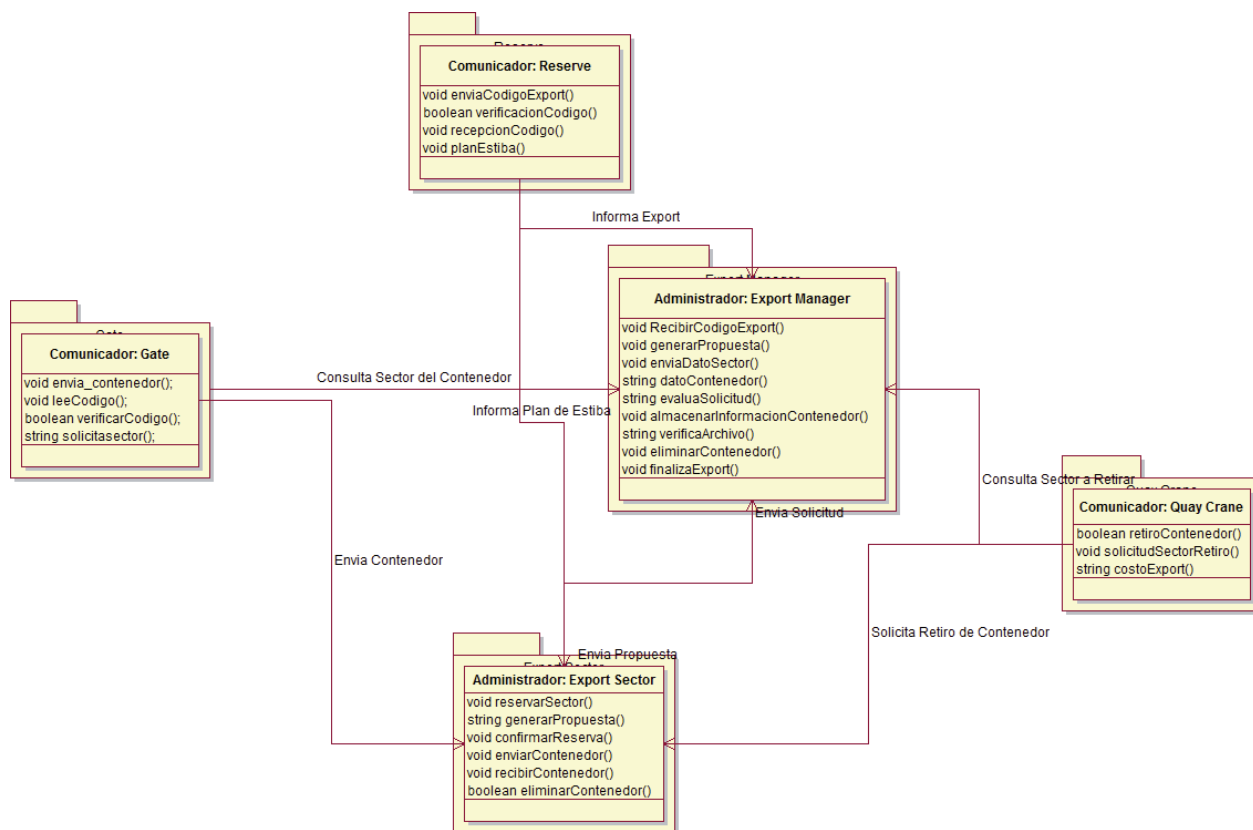


Figura 5.6 Descripción de Roles [Elab. Propia]

La Figura 5.6 muestra el diagrama de descripción de roles, en donde se representa cada uno de los roles que tomarán cada uno de los agente dentro del sistema, como también las interacciones entre dichos roles, además muestra los diferentes comportamientos y métodos de los agentes que participan en el sistema.

5.4 Estructura de los Datos de Entrada

En este capítulo, se detalla los datos de entrada que son necesarios en el Sistema Multiagente para realizar las pruebas. Dentro de los datos se encuentra los bloques de almacenamiento, la planificación naviera, el listado de naves, la distancia entre los bloques y los sitios de atraque, entre otros.

5.4.1 Lista de Bloque

Esta lista corresponde a los bloques que están destinados a almacenar contenedores de exportación en el Puerto de Arica, tienen asignado un nombre único que los distingue, también cuentan con tipos de contenedores que pueden almacenar (DRY, REEFER, IMO). Además posee la capacidad máxima de almacenamiento, la cual está en directa relación con los valores que tiene el bays, rows y el tiers. Esta lista es utilizada para crear los agentes bloques con su respectivo nombre y cualidades (Ver Tabla 5.1).

Tabla 5.1 Lista de Bloque [Elab. Propia]

Nombre Bloque	Capacidad	Tipo	Bays	Rows	Tiers
CP1	240	DRY	16	3	5
CP2	420	DRY	28	3	5
Z13	180	DRY	12	3	5

5.4.2 Planificación Naviera

La Planificación Naviera corresponde al orden de llegada de las naves a los sitios de atraque, además contiene el sitio de atraque y el número de contenedores que van a retirar. Esta instancia es empleada para decidir dónde posicionar los contenedores en los bloques, para que queden cerca del sitio de atraque (Ver Tabla 5.2).

Tabla 5.2 Planificación Naviera [Elab. Propia]

Nave	Cantidad	Sitio
MSC ELA	23	S3
MSC ELENI	102	S5
MSC FLORIDA	85	S1

5.4.3 Lista de Naves y Prioridades Viajes

En este caso, los datos de entrada representan los lugares de arribo de las naves, las que poseen un campo nombre y además los viajes que realizan dichas naves ordenadas según su arribo. Estos datos son utilizados para realizar la organización de los contenedores dentro de los bloques de almacenamiento, lo cual permite no colocar contenedores arriba de un contenedor que va a ser retirado después (Ver Tabla 5.3).

Tabla 5.3 Lista de Naves y Prioridades Viajes [Elab. Propia]

Nave	Prioridad 1	Prioridad 2
MSC ELA	1227R	1228R
MSC ELENI	1227R	
MSC FLORIDA	1226R	1222R

5.4.4 Distancia entre Bloques y Sitio

En este caso, los datos corresponden a las distancias en que se encuentran los bloques respecto a los sitios de atraque de las naves. Es utilizada al momento de realizar la reserva de almacenamiento de contenedores, ya que al disminuir la distancia de recorrido se logra disminuir el tiempo (Ver Tabla 5.4).

Tabla 5.4 Distancia entre Bloques y Sitio [Elab. Propia]

Blo/Sit	S5	S4	S3	S2	S1
CP1	876	700	404	447	212
CP2	901	719	431	464	238
Z13	558	389	86	333	311

5.4.5 Segregación de Contenedores

La Segregación de Contenedores son las agrupaciones de éstos que tengan las mismas naves, destino, tipo, estado y tamaño, lo que permite realizar grupos homogéneos de contenedores, facilitando la búsqueda, la reserva, el ingreso y retiro (Ver Tabla 5.5).

Tabla 5.5 Segregación de Contenedores [Elab. Propia]

Código	Nave	Viaje	Tipo	Estado	Tamaño[TEU]
1	ARSOS	176N	DRY	FULL	1
2	CAP MELVILLE	29	DRY	EMPTY	1
3	CAP PALMAS	145	DRY	FULL	1

5.4.6 Contenedores Iniciales

Estos datos de entrada corresponden a contenedores que están almacenados con anterioridad en los bloques, por lo tanto, al momento de crear los bloques estos son asignados (Ver Tabla 5.6).

Tabla 5.6 Contenedores Iniciales [Elab. Propia]

Código	Tamaño[TEU]	Tier	Bay	Row	Block
78	1	1	1	1	ZA1
80	2	2	3	1	Z14

5.4.7 Planificación de las Ofertas y Demandas de Exportación

En este caso, corresponde a flujos de contenedores que van transcurriendo en un rango de tiempo determinado. Son utilizados para realizar la reserva por segregación, el ingreso de los contenedores y el retiro de éstos por las naves (Ver Tabla 5.7).

Tabla 5.7 Planificación de las Ofertas y Demandas de Exportación [Elab. Propia]

Nave	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
61	8	12	27	0	0	0	0
15	5	0	12	4	30	24	0

5.4.8 Rango de Tiempo de la Oferta y Demanda

En este caso, los datos de entrada que representan bloques de tiempos estáticos, los cuales contienen los contenedores que ingresan por el Gate en el caso del rango de tiempo de la oferta o el retiro de los contenedores por el Quay Crane (Ver Tabla 5.8).

Tabla 5.8 Rango de Tiempo de la Oferta y Demanda [Elab. Propia]

Código	Tamaño[TEU]	Tiempo	Sitio	Cantidad de Contenedores
78	1	T1	S5	130
43	1	T2	S2	21
6	2	T3	S2	14

5.5 Estructura de los Datos de Salida

Los datos de salida corresponden a los contenedores que fueron retirados por las naves donde se muestra el código de segregación, el sitio donde atracó la nave, la posición donde fue almacenado, en qué bloque, el tamaño del contenedor, la ventana de tiempo que fue retirado el contenedor y los movimientos que fueron necesarios para extraer el contenedor del bloque (Ver Tabla 5.9).

Tabla 5.8 Datos de Salida [Elab. Propia]

Código	Tamaño[TEU]	Tiempo	Sitio	Cantidad de Contenedores	Tier	Bay	Row	Block	Movimientos
83	1	T1	S2	56	1	1	1	ZA1	2
59	2	T3	S1	24	4	2	2	ZA1	0

5.6 Interfaz Gráfica del Sistema Multiagente

A continuación se muestra la interfaz gráfica del Sistema Multiagente, la cual muestra los bloques de almacenamiento disponibles, los contenedores que ingresan y son retirados, la ubicación donde son almacenados los contenedores, las ubicaciones que se reservan en los bloques de almacenamiento y la ventana de tiempo que se está ejecutando. Lo que se busca con esta interfaz es sólo mostrar el estado actual del Sistema Multiagente. (Ver figura 5.7).

Yard Allocation Problem

Block de Almacenamiento:

- Block: CP2
- Capacidad: 420
- Tipo: DRY
- Tiers: 5 Bays: 28 Rows: 3
- Block: Z13
- Capacidad: 180
- Tipo: DRY

Ingreso de Contenedores por el Gate:

- ID: 62 Nave: NEDLLOYD MARITA Viaje: 1209 Tamaño1
- ID: 62 Nave: NEDLLOYD MARITA Viaje: 1209 Tamaño1
- ID: 62 Nave: NEDLLOYD MARITA Viaje: 1209 Tamaño1
- ID: 88 Nave: SEABOARD PACIFIC Viaje: 17 Tamaño1

Retiro de Contenedores por el Quay Crane:

- ID: 61 Nave: NEDLLOYD MARITA Viaje: 1209 Tamaño2
- ID: 61 Nave: NEDLLOYD MARITA Viaje: 1209 Tamaño2
- ID: 61 Nave: NEDLLOYD MARITA Viaje: 1209 Tamaño2
- ID: 15 Nave: COLAN Viaje: 18 Tamaño2

Asignación de Contenedores:

- Block: ZA2 - Segregación: 78 - Tamaño: 1 - Tiers: 1 - Bays: 5 - Tiers: 1
- Block: ZA2 - Segregación: 78 - Tamaño: 1 - Tiers: 1 - Bays: 5 - Tiers: 2
- Block: ZA2 - Segregación: 78 - Tamaño: 1 - Tiers: 1 - Bays: 5 - Tiers: 3
- Block: ZA2 - Segregación: 78 - Tamaño: 1 - Tiers: 2 - Bays: 5 - Tiers: 1
- Block: ZA2 - Segregación: 78 - Tamaño: 1 - Tiers: 2 - Bays: 5 - Tiers: 2
- Block: ZA2 - Segregación: 78 - Tamaño: 1 - Tiers: 2 - Bays: 5 - Tiers: 3
- Block: ZA2 - Segregación: 78 - Tamaño: 1 - Tiers: 1 - Bays: 2 - Tiers: 1

Reserva del bloque

- Reserva bloque: Z13 Segregacion: 61 Tiers: 1 Bays: 1 Rows: 1
- Reserva bloque: Z13 Segregacion: 61 Tiers: 1 Bays: 2 Rows: 1
- Reserva bloque: Z13 Segregacion: 61 Tiers: 2 Bays: 1 Rows: 1
- Reserva bloque: Z13 Segregacion: 61 Tiers: 2 Bays: 2 Rows: 1
- Reserva bloque: Z13 Segregacion: 61 Tiers: 2 Bays: 1 Rows: 1

Tiempo Horizonte Rodante: 1

Siguiente Ventana de Tiempo

Figura 5.7 Interfaz Gráfica de Sistema Multiagente [Elab. Propia]

5.7 Pruebas y Resultados del Sistema Multiagente

Se efectuaron los dos casos de pruebas funcionales, el primero se centra principalmente en la optimización del recorrido de los contenedores del patio de almacenamiento al sitio de atraque de naves, y en el segundo caso se busca la optimización, el reordenamiento de los contenedores en el sitio de almacenamiento. Con el fin de comparar los resultados obtenidos en las dos pruebas, éstos fueron transformados en función al tiempo (Minutos).

5.8 Casos de Pruebas

A continuación se mostrarán los resultados obtenidos en las dos pruebas realizadas en función del número de contenedores y al tiempo, utilizando como base la misma planificación naviera para los dos casos. Los datos de entrada para las dos pruebas son también iguales, lo único que cambia en las dos pruebas son los porcentajes de prioridad de los procesos. En el caso donde se busca optimizar el movimiento, se desprecian totalmente aquellos procesos cuyo fin es disminuir la distancia y se potencia los procesos que permitan optimizar el movimiento; lo mismo ocurre cuando se optimiza la distancia despreciando el movimiento y potenciando la distancia.

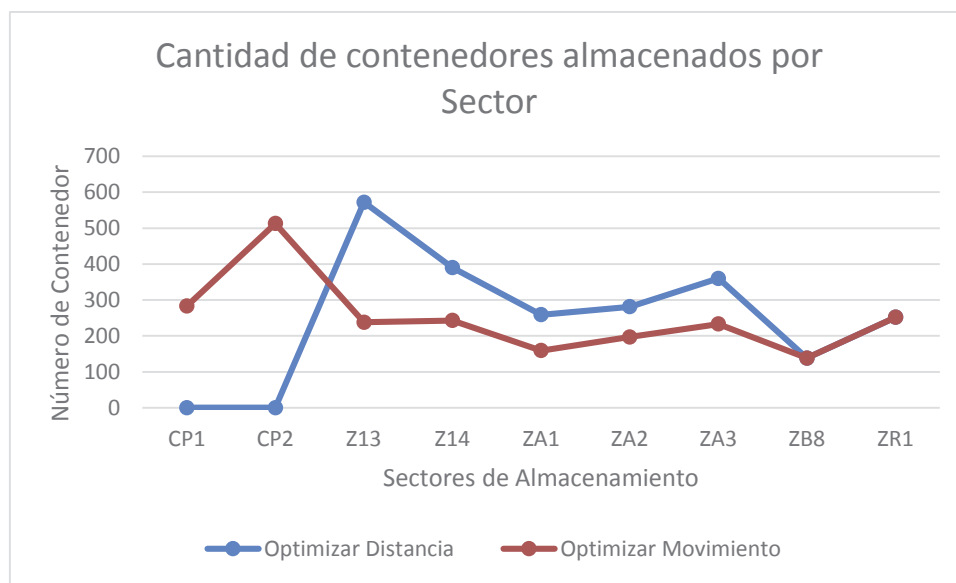


Figura 5.8 Gráfico Cantidad de Contenedores Almacenados por Sector

Como se observa en la Figura 5.8 los contenedores están repartidos de manera más homogénea en los sectores, en el caso donde se busca optimizar los movimientos; en cambio, en el caso en que se busca optimizar la distancia, los contenedores están centrados en un grupo de sectores.

5.8.1 Resultado Basado en la Distancia Recorrida

Como se muestra en la Figura 5.9 y en la Tabla 5.10 el uso de los sectores de almacenamiento es más equilibrado cuando se busca optimizar el movimiento, pero a la vez más costoso, ya que utiliza sectores más alejados de los sectores de atraque. En cambio al optimizar la distancia los contenedores se centran en los sectores más cercanos al lugar de atraque de la nave.

Tabla 5.9 Tiempo de la Distancia Recorrida

	CP1	CP2	Z13	Z14	ZA1	ZA2	ZA3	ZB8	ZR1	Total Minutos
Optimizar Distancia	0	0	1273	1130	425	320	293	431	403	4275
Optimizar Movimiento	895	1642	525	523	374	454	549	431	403	5797

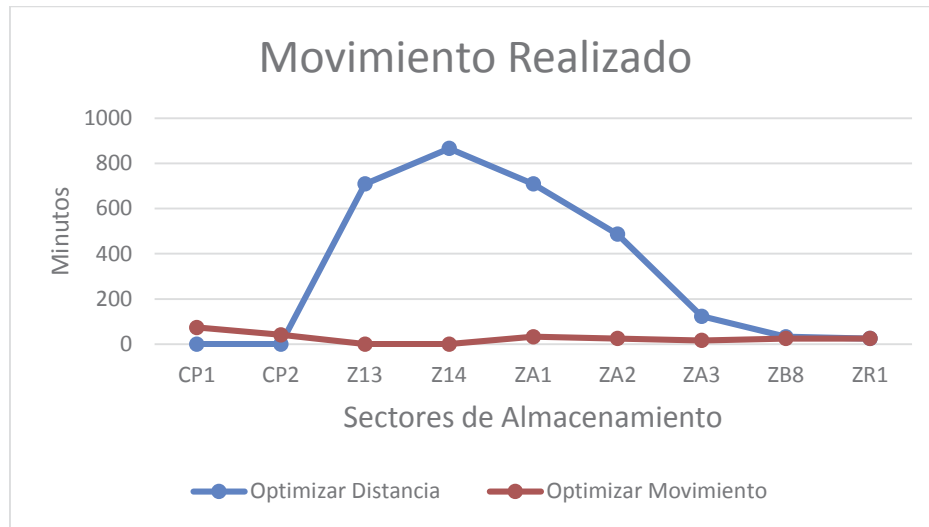


Figura 5.9 Gráfico en Base a la Distancia Recorrida

5.8.2 Resultado Basado en los Movimientos Realizados

Como se muestra en el gráfico de la Figura 5.10 la diferencia entre la optimización del movimiento y la de distancia es significativamente notoria, el tiempo utilizado para optimizar la distancia es significativamente mayor.

Tabla 5.10 Tiempo de los Movimientos Realizados

	CP1	CP2	Z13	Z14	ZA1	ZA2	ZA3	ZB8	ZR1	Total Minutos
Optimizar Distancia	0	0	709	866	709	487	124	33	25	2952
Optimizar Movimiento	74	41	0	0	33	25	16	25	25	239

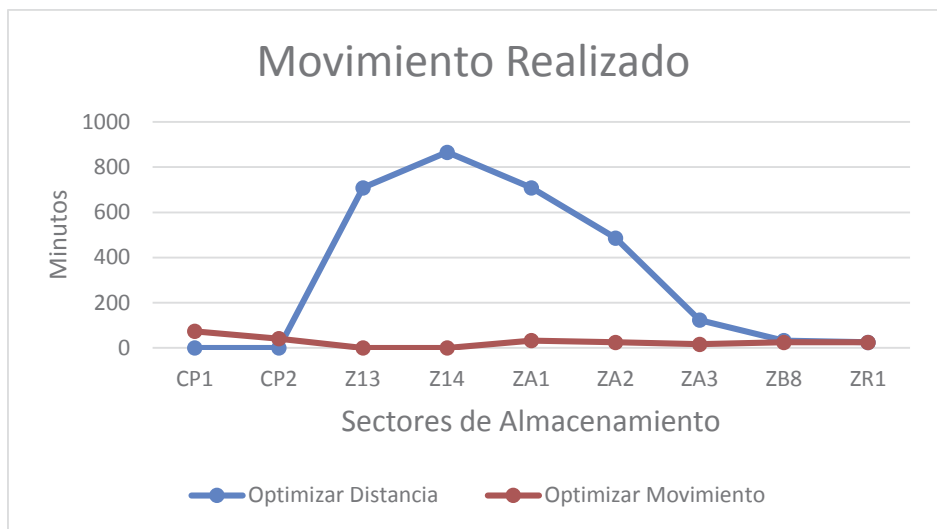


Figura 5.10 Gráfico en Base a los Movimientos Realizados

5.9 Resultado en base al Movimiento y a la Distancia

A continuación se revisarán los resultados de los procesos movimientos realizados y la distancia recorrida en su conjunto, esto permitirá distinguir el impacto que tiene la optimización en los dos procesos fundamentales del almacenamiento de contenedores. Como se observa en la Tabla 5.12 el tiempo utilizado al optimizar los movimientos es menor al optimizar la distancia de recorrido, esto permite concluir que realizar un movimiento extra tiene mayor impacto que dejar el contenedor más lejos el sector de atraque. Pero al no ser la diferencia tan notoria, es necesario agregar más factores para validar que este comportamiento es propio del negocio.

Tabla 5.11 Tiempo de la Distancia Recorrida más Tiempo de los Movimientos Realizados

	CP1	CP2	Z13	Z14	ZA1	ZA2	ZA3	ZB8	ZR1	Total Minutos
Optimizar Distancia	0	0	1982	1995	1134	807	417	464	428	7227
Optimizar Movimiento	969	1683	525	523	407	479	566	456	428	6036

Al ver la Figura 5.11 se puede distinguir que el tiempo utilizado para el reordenamiento tiene un fuerte impacto en funcionamiento normal del patio de contenedor y que éste centra su actividad en los sectores más cercanos al lugar de atraque.

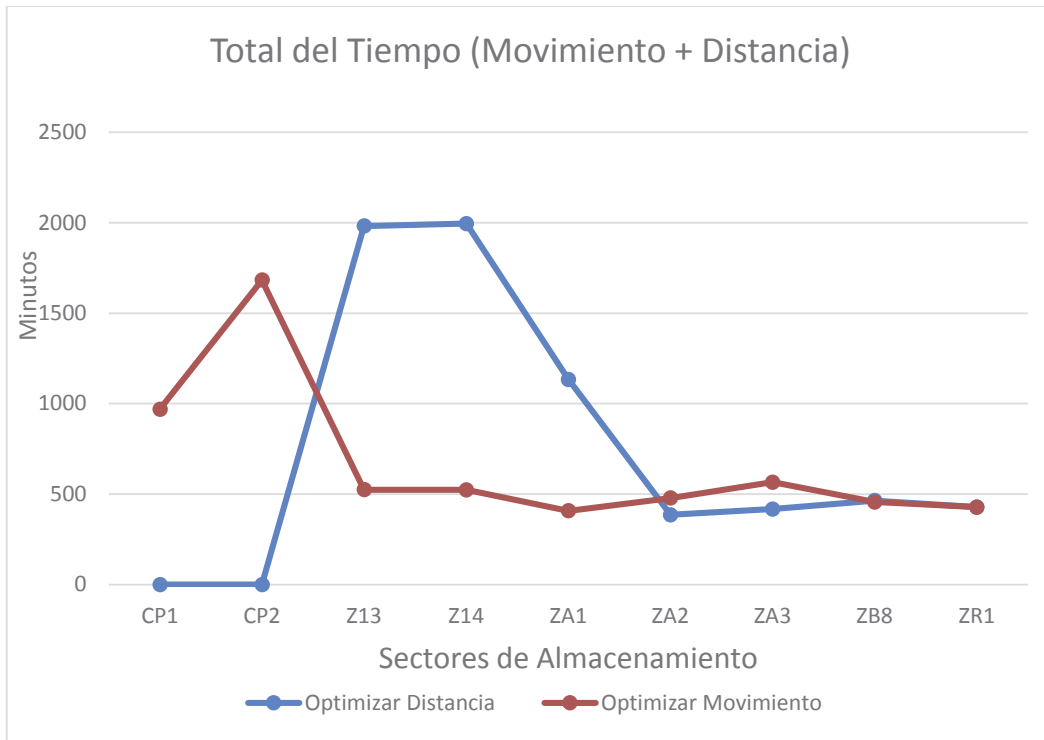


Figura 5.11 Gráfico en Base a los Movimientos y a la Distancia Recorrida

6 Conclusión

En el presente documento se presentó la descripción del problema de asignación de patio, el cual reveló la complejidad que tiene la resolución de dicho problema y los factores más relevantes al momento de llevarse a cabo. Para el problema se planteó un modelo utilizando tecnología Passi, el que permitió explicar las diversas tareas, definiendo la arquitectura del Sistema Multiagente. Se estableció datos de pruebas que permitieron establecer el costo en tiempo de las operaciones de un terminal portuario como el de Arica.

Como se pudo observar el costo de priorizar un proceso en particular puede afectar de manera directa a los demás, por lo cual se debe buscar un balance entre los diferentes procesos, buscando siempre favorecer al que tiene más impacto en el negocio, en este caso el reordenamiento de los contenedores en el patio de almacenamiento. Pero como se puede ver en las pruebas, sólo permiten establecer una relación entre dos procesos, de ninguna manera representan el comportamiento real del sistema. Para eso es necesario agregar factores externos e internos que no se consideraron.

Los resultados obtenidos destacan claramente el impacto que tiene el realizar acciones de más en un sistema como el terminal portuario, donde se manejan grandes cantidades de contenedores en espacios y en tiempo muy limitados.

Para mejorar la funcionalidad del sistema en el futuro, va a ser necesario implementar los rangos de tiempo de forma dinámica, además establecer restricciones que permitan acotar el dominio de posibles soluciones, lo que posibilitara descartar soluciones no factibles y ahorrar tiempo en la búsqueda. También se debe establecer una planificación naviera dinámica, que permita realizar comparación del comportamiento del Sistema Multiagente en diferentes escenarios.

Para trabajos futuros se espera mejorar la arquitectura e implementar diferentes heurísticas que permitan convivir con los diferentes factores y establecer soluciones más óptimas en el patio de contenedor. Si se logra representar el proceso de forma adecuada, también se podrá desarrollar un simulador que permita ver el comportamiento de los agentes.

7 Referencia

[Corchado, 2002] Juan Corchado “*Introducción a la Teoría de Agentes y Sistemas Multiagente*”, Edite Publicaciones Científicas, ISBN: 84-96086-00-3, 2002.

[Covarrubias y Tapia, 2012] Rodrigo Covarrubias, Francisco Tapia, “*Desarrollo, implementación y aplicación de un enfoque multi-objetivo para la planificación de operaciones en un patio de contenedores*”, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Industrial, 2012.

[Díaz, 2010] René Díaz, “*Desarrollo de un sistema multiagente para el Berth Allocation Problem*”, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Informática, 2010.

[Elorrieta, 2011] Julián Elorrieta, “*Planificación y Gestión de Operaciones Portuarias en Patio de Contenedores*”, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Industrial, 2011.

[González, 2007] María González, “*Metodología para la Determinación de Parámetros de Diseño de Terminales Portuarios de Contenedores a partir de Datos de Tráfico Marítimo*”, Universidad Politécnica de Madrid, Tesis Doctoral, 2007.

[Imai et al, 2007] Akio Imai, Hsieh Chia Chen, Etsuko Nishimura y Stratos Papadimitriou. “*The simultaneous berth and quay crane allocation problem*”, Volume 44: p. 900-920, 2007.

[Iglesias, 1998] Carlos Iglesias, “*Definición de una metodología para el desarrollo de sistemas multiagente*”, Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid, 1998.

[InnovaChile, 2012] InnovaChile Corfo, “*Solución Tecnológica para la Coordinación de Flujos entre Medios de Transporte, Terminales Portuarias y Generadores de Carga Contenedorizada*”, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Informe Consolidado ARICA, 2012.

[Legato, 2008] Pasquale Legato. “*Simulation-based optimization for the quay crane scheduling problem*”. Winter Simulation Conference 2008.

[Sycara, 1998] Katia Sycara, “*Multiagent Systems, Artificial Societies and Simulated Organizations*”, Center for Advanced Learning and Discovery, Carnegie Mellon University, 1998.

[Taleb-Ibrahimi, 1989] M. Taleb-Ibrahimi, “*Modeling and Analysis of Container Storage in Ports*”. Tesis Doctoral, University of California, 1989.

[Vis y Koster, 2002], Iris F.A. Vis, René de Koster, “*Transshipment of containers at a container terminal: An Overview*. *Rotterdam- European Journal of Operational Research*, Volume 147: p. 1 – 16, 2002.

[Weiss, 1999] Gerhard Weiss, “*Multiagent Systems*”, Institut for Informatik, Technische Universität München, Germany, ISBN 0-262-23203-0, 1999.

[Wooldridge, 2009] Michael Wooldridge, “*An Introduction to MultiAgent Systems*”, Department of Computer Science, University of Liverpool, UK, Wiley, 2nd Edition, ISBN 978-0470519462, 2009.

[Zhang et al, 2003] Chuqian Zhang, Jiyin Liu, Yat-wah Wan, Katta G. Murty y Richard J. Linn (2001). “*Storage space allocation in container terminals*”, 2003.

[URL 1, 2012] Terminal Portuario de Arica, Página Web: www.tpa.cl, 2012. Última vez visitada: 10/12/2012.

[URL 2, 2012] Terminal Portuario de Arica, Página web: www.sanantonioport.cc.cl, 2012. Última vez vista: 18/06/2012.

[URL 3, 2000] Introducción a los Agentes y Sistemas Multiagente, Página web: www.infor.uva.es/~cllamas/MAS/MAS.pdf, 2012. Última vez vista: 11/04/2012.