

# DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE LA OPERATIVA TERRESTRE EN UNA TERMINAL MARÍTIMA DE CONTENEDORES.

Simarro Fernández, Raúl [rausifer@upvnet.upv.es](mailto:rausifer@upvnet.upv.es)  
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática

De La Fuente Anuarbe, Miguel Ángel [mafuelle@dsic.upv.es](mailto:mafuelle@dsic.upv.es)  
Departamento de Sistemas Informáticos y Computación

Figueroa García, Jorge Mario [figueroa@dsic.upv.es](mailto:figueroa@dsic.upv.es)  
Departamento de Sistemas Informáticos y Computación  
Universidad Politécnica de Valencia  
Camino de Vera s/n - 46022 Valencia

## Resumen

*El artículo describe la implementación de las herramientas para la planificación de la operativa terrestre en una terminal marítima de contenedores. Así mismo, se expone la utilización de un simulador de la operativa terrestre para llevar a cabo la depuración y validación de los módulos, antes de su puesta en funcionamiento en la planta. Este trabajo está siendo realizado por la Universidad Politécnica de Valencia en colaboración con la empresa Marítima Valenciana S.A., encaminado al desarrollo de un sistema integral para la automatización de su terminal de contenedores.*

**Palabras Clave:** Terminal de contenedores, planificación de órdenes, simulación de eventos discretos, modelado orientado a objetos, simulación distribuida.

## 1 INTRODUCCIÓN

La implantación de un nuevo sistema de producción en la industria supone siempre un periodo de adaptación, en el cual se trata de poner en marcha las nuevas aplicaciones corrigiendo los posibles errores, depurando y validando la nueva solución.

En concreto, la automatización de la gestión de la operativa terrestre en una terminal de contenedores implica desarrollar un sistema distribuido compuesto por una serie de herramientas cuyas decisiones afectan directamente al funcionamiento de las demás.

En el presente artículo se propone la utilización de un simulador de las operaciones de planta, que permite depurar y validar cada una de las aplicaciones de las que consta el sistema así como las comunicaciones entre ellas.

## 2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los contenedores son un medio ampliamente utilizado en el transporte de mercancías debido al servicio puerta-puerta que ofrecen y la rapidez en que puede ser realizadas las operaciones entre el servicio marítimo de transporte y el terrestre. Estas ventajas han motivado que el volumen de transporte marítimo de contenedores haya aumentado considerablemente en los últimos años y en particular, en la Comunidad Valenciana [5].

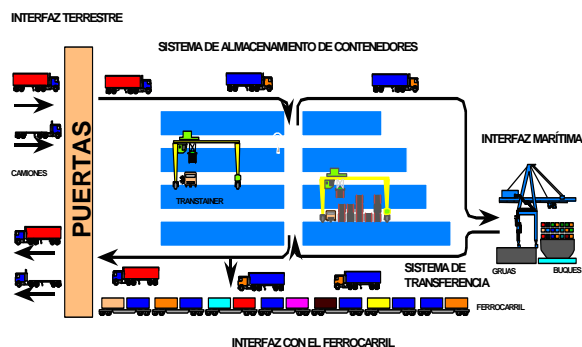


Figura 1: Operativa de la terminal de contenedores.

En una terminal marítima de contenedores se realizan las operaciones de carga y descarga de los mismos en los barcos y sirve de punto de interconexión del transporte marítimo con el terrestre (camiones y ferrocarril). Para realizar este proceso es necesario almacenar temporalmente los contenedores hasta que son despachados a su destino utilizando máquinas especializadas en su manipulación (transtainers, frontales, grúas porta contenedores y otras.).

Estas terminales normalmente son grandes y, debido al impacto medioambiental de los grandes puertos y

sus grandes costes, es necesario optimizar la utilización de este espacio y los recursos implicados en la gestión de los contenedores [6].

Una terminal de contenedores se puede modelar como un almacén de contenedores organizados en pilas. Las entradas y salidas de los mismos se realizan por medio de camiones, ferrocarriles y barcos. Cuando llega un contenedor se le debe asignar una posición en la terminal (calle, pila, andana y altura) y planificar las máquinas que deben manipularlo y colocarlo en la posición deseada. De la misma forma, en las salidas de contenedores se deben asignar los recursos necesarios y las operaciones a realizar. En función del medio de transporte empleado aparecen distintas necesidades desde el punto de vista de automatización de la terminal. En la figura 1 se muestra un esquema de la operación en la terminal de contenedores y la interacción de los subsistemas más relevantes relacionados con la explotación de la misma. Utilizando los sistemas de ubicación, programas informáticos e información referente al estado de la terminal, el personal de la empresa controla las operaciones a realizar. Estas operaciones se realizan bajo restricciones impuestas por elementos que intervienen en el proceso.

El conjunto de operaciones que se llevan a cabo en la terminal es muy extenso, pero todas las aproximaciones identifican los mismos sistemas comunes [1]:

- Interfaz marítima: El sistema se encarga de cargar/descargar contenedores al/del buque. Habitualmente se utilizan dos o tres grúas para cada barco, dependiendo de las dimensiones y carga del mismo.
- Interfaz con el ferrocarril: El sistema se carga de cargar / descargar contenedores de los ferrocarriles.
- Sistema de transferencia: Se encarga de transferir los contenedores de la planta al muelle de carga y viceversa. El método utilizado en la terminal es emplear camiones internos para realizar los transportes. Para coger o depositar un contenedor en una pila de la planta es necesaria la utilización de un transtainer (grúa puente sobre ruedas neumáticas). Habitualmente, se dispone de al menos un transtainer y de siete u ocho camiones para servir a cada grúa.
- Sistema de almacenamiento de contenedores: Tiene como finalidad la ubicación y control de los contenedores en la terminal. Éstos pueden organizarse en pilas o directamente sobre chasis.

- Interfaz terrestre: El sistema centra su atención en las interacciones con el transporte terrestre, facilitando la identificación de vehículos y conductores en las puertas de la terminal.

### 3 ESTRUCTURA PROPUESTA

GAMA (Gestión Automática de una terminal Marítima de contenedores) desarrolla un sistema de automatización global de la terminal. El sistema determina y planifica en tiempo real las actuaciones necesarias para la mejor explotación, ubicación de los contenedores, gestión de puertas, planificación de la estiba, gestión de máquinas y otras tareas, a partir de la configuración física de la terminal y las necesidades y los recursos disponibles en cada momento.

Para la consecución de este objetivo, se han identificado unas áreas de actuación concretas sobre las que descansa la estructura del sistema global. Los sistemas que implementan cada una de las áreas de interés sobre las que se centra GAMA son: sistema de ubicación de contenedores, sistema de gestión de máquinas, sistema de información y visualización de la terminal y el sistema de control de accesos.

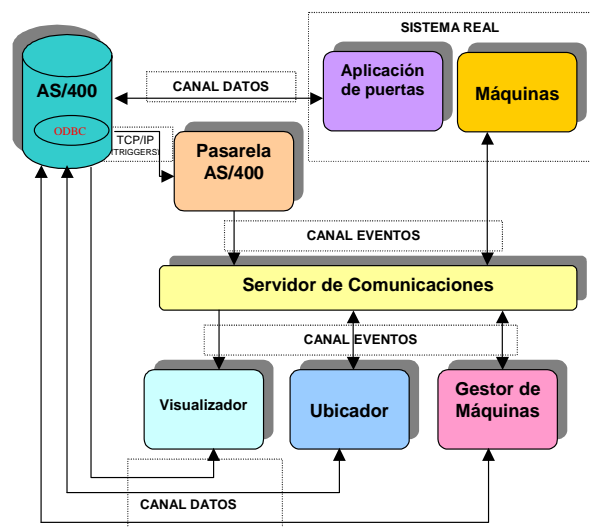


Figura 2: Esquema del sistema GAMA.

#### 3.1 MÓDULO DE UBICACIÓN

Este módulo se encarga de la automatización del proceso de ubicación de contenedores y de configuración de la planta.

A los contenedores que entran en la terminal se les debe asignar una posición (calle, pila, andana y altura) dentro de la planta, intentando siempre agrupar los contenedores que tienen características

comunes (tipo homologado, tamaño, peso, puerto de destino, barco de embarque y línea).

El objetivo es tratar de conseguir tiempos de respuesta cortos para la ubicación de un contenedor y de obtener respuestas satisfactorias, cercanas a los valores óptimos. Para el desarrollo de su función, el módulo de ubicación efectúa un proceso de búsqueda consultando en una base de datos el estado de las pilas obteniendo soluciones aproximadas que se van refinando progresivamente [4].

El módulo de ubicación ha sido implementado en lenguaje C++ bajo una plataforma Windows y debe comunicarse con aplicaciones desarrolladas en otros sistemas dentro de un sistema heterogéneo.

En concreto, en el sistema real las entradas al módulo de ubicación son proporcionadas por cada una de las aplicaciones de puertas, que funcionan en un sistema AS/400. La comunicación de los eventos de entrada de contenedores con el servidor AS/400 se hace por medio de mensajes, que contienen los datos necesarios para la ubicación del contenedor, siguiendo una conexión de sockets bajo TCP. Actualmente los mensajes que se transfieren entre sí los módulos siguen un formato interno orientado a la aplicación, o lo que es lo mismo, cada agente implicado en una acción debe conocer la sintaxis interna.

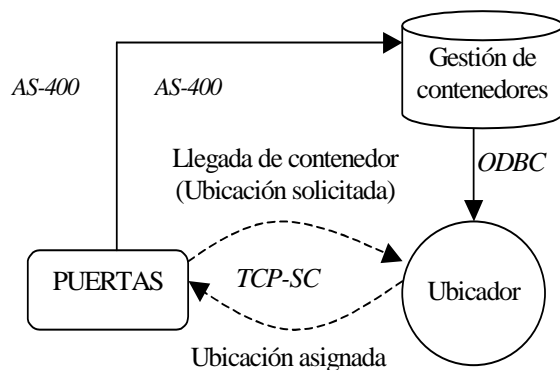


Figura 3: Diagrama de información en la ubicación.

El ubicador interpreta el mensaje de entrada y, en función de su contenido, calcula la posición más conveniente para el contenedor, comunicando a la aplicación de puertas la ubicación asignada por medio de otro mensaje. Esa aplicación se encarga posteriormente de registrar la ubicación en una base de datos.

La heterogeneidad de los sistemas implicados, hace que se deban emplear pasarelas dedicadas al paso y adaptación de los mensajes a las características concretas de los medios que estos deben atravesar.

En este nivel se ofrecen servicios orientados a la comunicación y difusión de los eventos producidos en la terminal y se realiza a través de un Servidor de Comunicaciones (SC), basado en la compartición de datos a través de una pizarra distribuida.

### 3.2 MÓDULO DE GESTIÓN DE MAQUINARIA

Las diferentes máquinas que operan en la terminal de contenedores para la manipulación y traslado de contenedores juegan un papel primordial en la labor de esta planta. La función fundamental que se realiza en esta terminal es la entrada y salida de contenedores de la misma. Puesto que interesa aprovechar al máximo los recursos con los que se cuenta para minimizar el tiempo de espera de los transportistas, se busca que el uso de las máquinas sea el óptimo.

Para cumplir con su cometido, el módulo gestor de maquinaria debe de ser capaz de realizar la asignación de órdenes mediante ciertos criterios de optimización; monitorizar el estado de las ordenes; monitorizar el estado de las máquinas; mantener la consistencia de las tablas de maquinaria, ordenes, movimientos y mensajes. Opcionalmente, cuando ocurre que cierta situación no puede ser resuelta por él mismo, interactúa con el ser humano que juega el papel de un controlador de calle.

Para realizar las funciones antes mencionadas se ha creado un gestor de ordenes (GO), que se encarga de gestionar cualquier tarea relacionada con la creación y actualización de órdenes. También se ha creado un gestor de maquinaria (GM), cuya función es la monitorización del estado de las máquinas y la toma de decisiones para la asignación de órdenes a las mismas. El paso de mensajes entre el GO y las máquinas lo realiza una pasarela SC-LXE. Por último, como existen ocasiones en las que es conveniente que un humano (controlador) sea quien tome decisiones sobre la realización de los movimientos, se ha creado una aplicación de interfaz en donde es posible emitir órdenes y monitorizar el estado de ellas.

La interacción que existe entre los distintos módulos del sistema implicados en el control de la maquinaria es el que se muestra en la figura 4. Las distintas aplicaciones que componen el módulo de gestión de maquinaria están sometidas a un constante intercambio de datos. Antes de la puesta en funcionamiento del sistema dentro de la terminal, debemos asegurar el correcto funcionamiento. Los módulos deben ser depurados y validados, para lo cual la simulación del sistema real resulta fundamental.

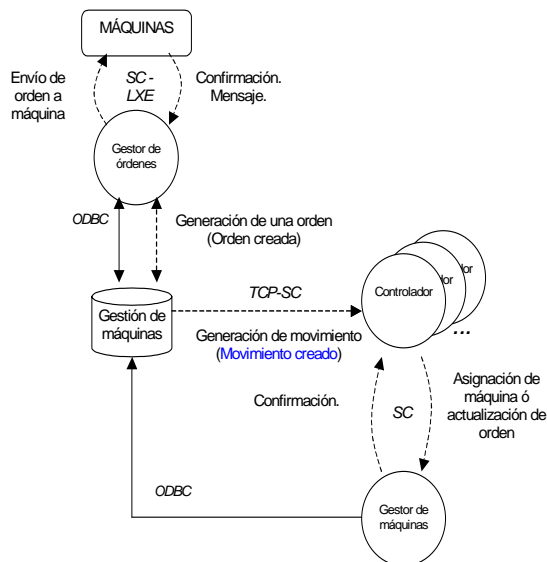


Figura 4: Interacción de los diferentes módulos para la gestión de máquinas.

## 4 VALIDACIÓN DE LAS APLICACIONES

Una parte fundamental para la gestión de maquinaria es la correcta emisión y estructuración de los mensajes que tendrán que ser procesados por las máquinas de la terminal de contenedores. Así mismo, es necesario que las distintas aplicaciones que interactúan con estas máquinas, puedan certificar que reciben correctamente los diferentes mensajes que emiten las mismas, y realizan las tareas esperadas como respuesta a ellos.

Estas operaciones requieren de repetidas pruebas y de una gran coordinación entre las aplicaciones que tratan con un mensaje específico. El traslado de las aplicaciones hasta la terminal marítima, junto con la puesta a punto de las mismas, requiere de una gran cantidad de tiempo y esfuerzo. En este sentido, contar con los medios necesarios para poder simular la situación a la que se enfrentarán las aplicaciones, reduce de manera considerable el costo de las pruebas. Adicionalmente a esto, se obtiene una gran ventaja en el desarrollo de las aplicaciones, porque se sabe que los módulos que se han desarrollado han sido probados en un ambiente idéntico al que se enfrentarán las aplicaciones en la realidad y, mejor aún, las aplicaciones pueden ser sometidas a situaciones extremas que difícilmente se podrían probar estando en contacto directo con el ambiente real de operación.

Por otra parte, la validación del módulo de ubicación de contenedores es compleja, por cuanto es necesario comprobar la sintaxis de los mensajes de solicitud de ubicación, las comunicaciones con la base de datos a

través del canal ODBC, la respuesta del módulo a la petición solicitada por el agente de puertas y la corrección de la respuesta solicitada. El simulador proporciona la funcionalidad necesaria para efectuar esta validación por cuanto permite simular de manera acelerada un gran número de entradas, y ver el aspecto que va tomando la planta con diferentes políticas de planificación.

### 4.1 SIMULADOR DE LA TERMINAL

El simulador de la terminal debe reproducir de la forma más precisa posible el comportamiento de los componentes que participan en la operación habitual de la terminal, como grúas, transtainers, camiones, contenedores, barcos, puertas y otros elementos. La interacción entre todos estos elementos debe imitar los fenómenos encontrados durante el funcionamiento.

El simulador deberá tener las siguientes características generales:

- Debe modelar el comportamiento de las máquinas de la terminal: camiones, transtainers, grúas, frontales, trenes y buques. Los parámetros de las operaciones vendrán definidas por distribuciones estadísticas del tiempo empleado en cada una.
- Debe permitir la configuración de la distribución (*layout*) y de los parámetros característicos de la terminal bajo estudio.
- Se ofrecerá un entorno gráfico, donde se reflejará la evolución del estado de la terminal. Este mismo entorno puede servir para la operación en tiempo real de la terminal.
- Se debe establecer un mecanismo de comunicación con los módulos de ubicación de contenedores, de planificación de máquinas y de estiba que son utilizados para la explotación de la terminal.

El simulador debe incluir todas las operaciones básicas que se realizan en la terminal de contenedores relacionadas con la manipulación de los contenedores y operaciones directas con las máquinas:

- Entradas de camiones : se generarán llegadas de camiones a la terminal siguiendo una determinada distribución en función de la hora.

- Tratamiento de información en la puerta : Se simulará el tiempo empleado en la tramitación de los datos de los contenedores en las puertas mediante una distribución de probabilidad. Al final de este proceso se solicitará la ubicación de los contenedores.
- Transporte de los contenedores : Se simulará el movimiento del camión hasta las posiciones donde debe ser ubicado el contenedor. La velocidad media del camión se obtendrá de una distribución aleatoria cuyos datos se obtendrán a partir de medidas realizadas en la terminal.
- Simulación de transtainer : Se simularán los movimientos de un transtainer, carga y descarga de contenedores, incluyendo las remociones necesarias, translación en calle y entre calles de la terminal. Las órdenes deberán ser generadas por un módulo específico externo al simulador que planifique las operaciones de los transtainers.
- Simulación de la operativa marítima : Se simularán las operaciones de carga y descarga buques. Esta es una operación compleja que implica la utilización de varias grúas, camiones y transtainers de forma simultánea.
- Simulación de otras máquinas : El simulador podrá incluir otras máquinas que operan normalmente en la terminal. En el caso de ser incluidas, es necesario que un módulo gestione las órdenes oportunas.
- Llegada de buques a la terminal : En base a la información histórica y siguiendo una determinada distribución en función del servicio, se generarán las entradas de buques a la terminal.
- La entrada y salida de contenedores por ferrocarril será simulado como una puerta específica.

En resumen, el simulador se debe comportar de forma similar a la operación normal de la terminal : los operadores de grúa, transtainer, conductores de camiones, plataformas y operadores de otras máquinas reciben un conjunto de órdenes por medio de papel, sistemas de comunicación digital, computadores o por radio.

Dadas las características del problema se ha optado por un diseño orientado a objetos [3], que facilita la caracterización de los diversos elementos (terminal,

contenedor, camiones, puertas, grúas, buques, transtainers y demás máquinas), modelando los métodos y eventos de cada objeto.

## 4.2 SISTEMA EN SIMULACIÓN

En el sistema GAMA existen dos “canales” para comunicar las aplicaciones, el canal de datos y el canal de eventos. El canal de datos es el que utilizan las aplicaciones para consultar y actualizar la base de datos. Este canal se desarrolla por medio del interfaz ODBC (Open DataBase Connectivity). El canal de eventos es el que utilizan las distintas aplicaciones para realizar el paso de mensajes de forma síncrona.

El soporte de datos en Marítima Valenciana S.A. se encuentra en un AS/400, el cual ofrece el protocolo ODBC, que como se ha comentado anteriormente, es el que se utiliza para consultar y actualizar la información. La base de datos es la que mantiene la información actualizada con los contenedores que se encuentran en la terminal, la posición de las máquinas y sus características, las entradas y salidas de buques, trenes, camiones y otras máquinas. En definitiva, es donde se encuentra el estado de la terminal y donde todas las aplicaciones consultan y actualizan la información. La actualización de un campo en esta base de datos genera un evento que informa al resto de las aplicaciones.

La estructura que tiene el sistema propuesto en el sistema simulado es el mismo con el que se encontrarán las aplicaciones en la planta. De esta forma, no existe ninguna discrepancia en cuanto a las entradas y salidas para cada módulo. La idea es “sustituir” la realidad por el módulo de simulación, de forma que las interacciones que cada aplicación tiene con la terminal (transtainers, grúas, camiones, contenedores, base de datos,...) son reproducidas por el simulador.

El soporte de datos también ha sido sustituido por un servidor SQL, el cual también permite realizar la emisión de eventos cuando se realiza un cambio en un campo de la base de datos por medio de *triggers*. La estructura de las aplicaciones en simulación puede verse en la figura 5.

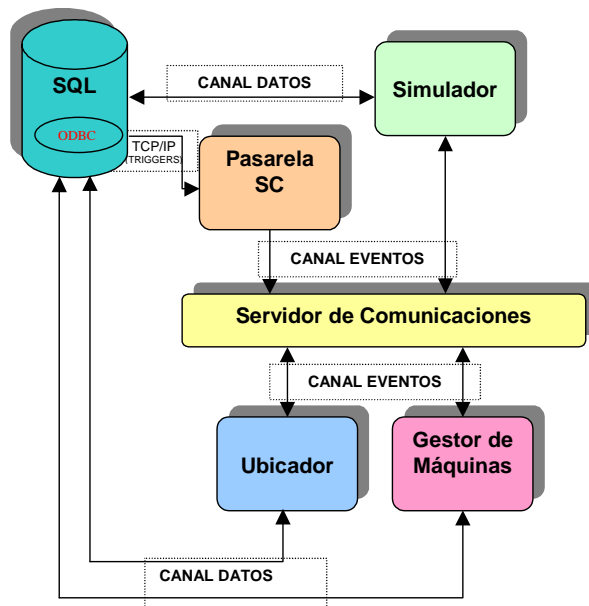


Figura 5: Estructura en simulación.

## 5 CONCLUSIONES

La utilización del simulador de la planta para verificar los módulos del sistema GAMA, tiene como principales ventajas:

Comprobar que la solución en la política de ubicación de contenedores y en la gestión de maquinaria es la más apropiada sin perjudicar en ningún momento la operativa de la terminal.

Validar a las aplicaciones frente a sobrecargas. En el simulador se pueden generar entradas de contenedores de forma masiva, e incluso tenemos la posibilidad de acelerar el tiempo real de ejecución, de esta forma blindamos las aplicaciones frente a situaciones que normalmente se darán en la realidad de forma esporádica.

Depurar errores que surgen en la comunicación entre aplicaciones debido a la heterogeneidad de las plataformas utilizadas (Windows - AS/400), tales como errores en la estructura de los mensajes, *time-outs* y creación de órdenes erróneas.

### Agradecimientos

Este trabajo está financiado por la CICYT y la Comisión Europea a través de los proyectos FEDER-CICYT números 1FD97-2158-C04-01 y 1FD97-2158-C04-03 y por la empresa Marítima Valenciana S.A.

### Referencias

- [1] Holguín, J., (1999) *Optimal pricing service and space allocation in container ports*. Transportation Research.
- [2] Kung, S.Y., (1993) *Digital Neural Networks*. Prentice Hall, Inc.
- [3] Marti, J., (1998) *Object-Oriented Modeling and Simulation with MODSIM III*.
- [4] Onaindia, E.; Barber, F.; Botti, V.; Carrascosa, C.; Hernández, M.A.; Rebollo, M., (1998) *A Progressive Heuristic Search Algorithm for the Cutting Stock Problem*. Lectures Notes in Artificial Intelligence, Springer-Verlag, pp:25 – 35.
- [5] Ruiz Vergara, L., (1999) *Memoria de actividades de la compañía Marítima Valenciana S.A.*.Valencia.
- [6] Simarro, R.; Navarro, J.L.; Huet, I.; Orellana, E., (2001) *Simulación de una terminal marítima de contenedores*. Workshop en metodologías de modelado y simulación de sistemas. Barcelona.