



**TESIS DE GRADO
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

MODELIZACIÓN DE SUPPLY CHAIN:

**"TEMPLATE PARA LA SIMULACIÓN DE LA GESTIÓN DE
EXPORTACIONES DE PRODUCTOS INDUSTRIALES"**

**AUTOR: LAURA TOCHI
DIRECTOR DE TESIS: ING. JULIO GARCÍA VELASCO**

2006

Dedicatoria

A mi familia: Papá, Mamá, Mariana y Guille

*Y a mis amigas: Paz, Magui, Nuri, Eli, Lau, Guille, Agos,
Guille y Vicky*

Resumen Ejecutivo

El éxito en las organizaciones está significativamente influenciado por un efectivo manejo de materiales e información entre distintas áreas funcionales de la organización, con otras organizaciones, con los clientes y con los proveedores. ¿Como mover materiales a través de la cadena de abastecimiento de manera más eficiente y generar valor? es, por lo tanto, una pregunta recurrente dentro de las organizaciones. Supply Chain o cadena de abastecimiento es un sistema que incluye todos los procesos involucrados en el flujo de materiales, información y dinero entre proveedores y clientes, desde el origen de las materias primas hasta el consumidor final. Los procesos contenidos dentro de una cadena de valor se pueden dividir en tres grandes etapas: La gestión de abastecimiento, la gestión de la producción y el manejo de productos en almacenes internos y la gestión de la distribución de los productos finales

El objetivo que plantea el proyecto es responder el interrogante planteado acerca de cómo mover materiales a través de la cadena de abastecimiento de manera mas eficiente y generar valor haciendo foco en las dos ultimas etapas: gestión de la producción y de la distribución de productos.

Para alcanzar este objetivo se desarrolla una herramienta que, a través de la integración de los flujos de materiales, información y dinero, optimiza los procesos de producción y distribución de productos industriales.

Esta herramienta es un template de simulación que permite mejorar la gestión de los procesos, minimizar costos, evaluar alternativas de gestión de los procesos de producción y distribución.

Además de la construcción del template se ha confeccionado un instructivo sobre la parametrización del modelo, donde también se contemplan aquellas variantes que podrían incorporarse en el modelo realizando algunas modificaciones.

Se han realizado dos aplicaciones del template. Una de ellas consiste en aplicar el modelo al general planteado como proceso base para poder observar el funcionamiento del template y medir su potencial de mejorar la gestión de las exportaciones de productos industriales. La segunda aplicación consiste en la parametrización de un caso real de referencia siguiendo los pasos planteados en el template.

Abstract

The success of the organizations is significantly influenced by an effective management of materials and information between the functional areas of the organization, other organizations, the clients and suppliers. As a consequence, the following question is common within the organizations: How can materials be effectively transported through the supply chain and still generate gains? Supply chain is a system that includes all the processes involved in the flow of materials, information and money among suppliers and clients from the raw materials to the consumers. The processes involved can be divided into three important (big?) stages: firstly, supply management; secondly, production management and management of goods in the warehouses and finally distribution of the end products management.

The aim of the project is to answer the query about how to effectively transport the materials through the supply chain and generate gains, especially focusing on the production management and the distribution of end products.

In order to accomplish this objective, a tool, which will integrate the flow of materials, information and money, was developed. As well as this, it will optimize the production processes and the distribution on industrial products.

The tool is a simulation template that will enable an improvement of the management of the processes, a reduction in costs and an evaluation of the production and distribution management processes.

Apart from the template construction, instructions about the model parametrization will be provided. The instructions will also take into account other possible variables the model might contemplate provided some changes are done.

There will be two applications about the template. One of them consist of applying the model to the general planning as a base process to observe the functioning of the template and measure its potential to improve the management of the exports of the industrial goods. The other application is about the parametrization of a real case following the steps mentioned in the template.

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecerle a mi director y tutor de tesis el Ingeniero Julio García Velasco por su dedicación, paciencia y motivación desde el primer día que comenzamos con el proyecto. Sin su ayuda no solo no hubiera podido hacer este proyecto, sino que tampoco hubiera tenido la posibilidad de seguir aprendiendo.

Le agradezco a Diego Ros Rooney por su ayuda y tiempo durante la construcción del modelo.

Gracias a todo el equipo del CEOS y cátedra de Investigación Operativa y Simulación.

También le agradezco a Fabiola Simonetti y Marcelo Grossi de Accenture y a Marcelo Soimu de Tenaris, por su colaboración en mi visita al puerto de Siderca.

DEDICATORIA	2
RESUMEN EJECUTIVO	3
ABSTRACT.....	4
AGRADECIMIENTOS	5
INTRODUCCIÓN	9
1. OBJETIVO	11
1.1. MEJORA DE LA GESTIÓN DE LAS EXPORTACIONES DE PRODUCTOS INDUSTRIALES	11
1.2. DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA DE GESTIÓN	12
1.3. ANÁLISIS DEL NIVEL DE FLEXIBILIDAD DE TEMPLATES DE SIMULACIÓN	13
2. SUPPLY CHAIN: MODELOS, PLANIFICACIÓN Y APLICACIÓN DE SIMULACIÓN.....	15
2.1. MODELOS DE SUPPLY CHAIN.....	15
2.2. PLANIFICACIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO	16
2.3. SIMULACIÓN APLICADA A LA CADENA DE ABASTECIMIENTO	17
3. DESARROLLO DEL TEMPLATE.....	18
4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
5. MODELO CONCEPTUAL.	19
5.1. PROPÓSITO Y ARGUMENTO DEL TEMPLATE.....	20
5.2. OBJETIVO E INDICADORES.....	24
5.3. CARACTERÍSTICAS Y CONTEXTO	24
5.4. ESTRUCTURA Y FUNCIONES.....	32
5.5. ENTIDADES.....	38
5.6. VARIABLES, AGENTES Y DECISIONES.....	42
5.7. ECUACIÓN ECONÓMICA DEL PROCESO	51

6. MODELO DE DATOS.....	60
6.1. BREVE INTRODUCCIÓN TEÓRICA DE ANÁLISIS DE DATOS	62
6.2. INPUTS DEL MODELO	66
6.3. OUTPUTS DEL MODELO	67
7. MODELO OPERACIONAL	68
7.1. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL SOFTWARE DE SIMULACIÓN	68
7.2. BREVE INTRODUCCIÓN TEÓRICA AL SOFTWARE ARENA	69
7.3. ESQUEMA DEL TEMPLATE CONSTRUIDO EN ARENA	71
7.4. VENTAJAS Y PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL TEMPLATE CONSTRUIDO	74
8. DISEÑO EXPERIMENTAL	75
8.1. DURACIÓN DE LAS CORRIDAS	76
8.2. CANTIDAD DE CORRIDAS	76
9. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN	78
9.1. RESULTADOS DE LOS INDICADORES.....	78
9.2. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN	82
10. PARAMETRIZACIÓN DEL TEMPLATE	85
10.1. REVISIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL	86
10.2. REVISIÓN DEL MODELO DE DATOS.....	88
10.3. REVISIÓN DEL MODELO OPERACIONAL	90
10.4. REVISIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	94
11. CONCLUSIONES DEL PROYECTO FINAL	96
RELEVAMIENTO DEL CASO DE REFERENCIA " PUERTO DE SIDERCA"	99
11.1. INTRODUCCIÓN A LA EMPRESA.....	99
11.2. HITOS.....	99
11.3. PROCESO PRODUCTIVO.....	101
11.4. RELEVAMIENTO DEL PROCESO DE DESPACHO	101
11.5. APLICACIÓN DEL MODELO AL CASO TENARISIDERCA.....	106
12. BIBLIOGRAFÍA	109
13. ANEXO I.....	110

14. ANEXO II	121
14.1. INPUTS DEL MODELO	121
14.2. CIRCUITO DE ÓRDENES.....	131
14.3. CIRCUITO DE BARCOS.....	147
14.4. CIRCUITOS GENERALES DEL SISTEMA.....	157
14.5. OUTPUT DE DATOS	158
14.6. MODIFICACIONES REALIZADAS AL TEMPLATE PARA UTILIZARLO COMO HERRAMIENTA DE MEDICIÓN.....	160
15. ANEXO III	161

Introducción

El éxito en las organizaciones está significativamente influenciado por un efectivo manejo de materiales e información entre distintas áreas funcionales de la organización, con otras organizaciones, con los clientes y con los proveedores. ¿Como mover materiales a través de la cadena de abastecimiento de manera más eficiente y generar valor? es, por lo tanto, una pregunta recurrente dentro de las organizaciones.

Supply Chain o cadena de abastecimiento es un sistema que incluye todos los procesos involucrados en el flujo de materiales, información y dinero entre proveedores y clientes, desde el origen de las materias primas hasta el consumidor final.

Los procesos contenidos dentro de se pueden dividir en tres grandes etapas:

- La gestión de abastecimiento
- La gestión de la producción y manejo de productos en almacenes internos
- La gestión de la distribución de los productos finales



Figura 1

El objetivo que plantea el proyecto es responder el interrogante planteado acerca de cómo mover materiales a través de la cadena de abastecimiento de

manera mas eficiente y generar valor, haciendo foco en las dos ultimas etapas: gestión de la producción y de la distribución de productos.

Para alcanzar este objetivo se desarrolla una herramienta que, a través de la integración de los flujos de materiales, información y dinero, optimiza los procesos de producción y distribución de productos industriales.

Esta herramienta es un template de simulación que permite mejorar la gestión de los procesos, minimizar costos y evaluar alternativas de gestión de los procesos de producción y distribución.

Para el desarrollo del template se seleccionaron los procesos de producción y distribución para el desarrollo del template, eligiendo el caso de productos industriales que se exportan vía marítima. El interés sobre este tema en particular surge de buscar una herramienta que permita la optimización de la gestión de ordenes de productos industriales producidos en Argentina, intentando vencer de esta manera la situación desfavorable en cuanto a ubicación geográfica en que se encuentra el país con respecto al resto del mundo.

El template presenta una gran flexibilidad de manera que pueda ser adaptado a diferentes casos de gestión de ordenes de exportaciones de productos industriales.

1. Objetivo

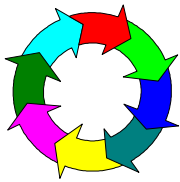
Los objetivos que se plantean en el proyecto son los siguientes.



Mejorar la gestión de las exportaciones de productos industriales a través de la utilización de un template de simulación



Desarrollo una herramienta de gestión de exportaciones de productos industriales a través de la construcción de un template de simulación



Analisis del nivel de flexibilidad que se puede alcanzar en la construcción de templates de simulación

1.1. Mejora de la gestión de las exportaciones de productos industriales

El primer objetivo es mejorar la gestión, minimizar costos y evaluar alternativas de gestión de las exportaciones de productos industriales. Para alcanzar este objetivo se plantea la construcción de un template de simulación que mediante la adecuada parametrización y adaptación alcance la meta propuesta.

Este template de simulación modeliza los procesos de producción y despacho de productos industriales vía marítima.

Para medir este objetivo se debe establecer el potencial de mejorar la gestión que puede aportar el template a la gestión actual de exportaciones de productos industriales. Es decir, se debe demostrar que la performance de la gestión de exportaciones de productos industriales luego de aplicar el template es mejor que sin el template. Con este objetivo se quiere medir el nivel de potencial que tiene el template para mejorar la gestión.

Para cuantificar este objetivo, se va a utilizar el template para cuantificar determinados indicadores que miden la gestión del proceso, reflejando la situación que se propone como inicial.

Para medir estos indicadores, se va a utilizar el template como herramienta para cuantificar el funcionamiento del sistema sin el aporte que da el template y para luego valorar el mismo indicador aplicando el modelo de gestión que propone el template. De la comparación de los valores de estos indicadores surgirá una aproximación del valor que puede aportar el template. Esta medición va a ser una aproximación cuantitativa al potencial de mejora que puede aportar el template.

1.2. Desarrollo de una herramienta de gestión

Con la construcción del template se quiere aportar una herramienta que mediante la adecuada parametrización y adaptación y con el input correspondiente para cada caso, brinde información útil para que, entre otros posibles objetivos, permita:

- Analizar alternativas de la gestión de los procesos analizados
- Evaluar diferentes estrategias de decisión para realizar la planificación de embarques y la operatoria del puerto
- Evaluar el dimensionamiento de los recursos necesarios en función del volumen de trabajo
- Encontrar cuellos de botella de los procesos
- Analizar mejoras de proceso
- Analizar el costo-beneficio de reducir las causas de variabilidad
- Realizar el análisis de la conveniencia de realizar inversiones

Este template de simulación contempla un caso general de gestión de exportación de productos industriales vía marítima que puede ser adaptable a distintos casos. Además de la construcción del template, el proyecto presenta un instructivo en el cual se detallan los pasos requeridos para realizar la parametrización del template, de manera de adaptar el caso general planteado en el template a cada caso particular.

Una vez que se parametriza el template para cada caso particular, se obtiene el modelo de simulación característico del caso que se este analizando. Este modelo, alimentado con los datos propios del caso, brinda la información necesaria para el análisis y mejora de la gestión de los procesos analizados, como se muestra en la Figura 2.

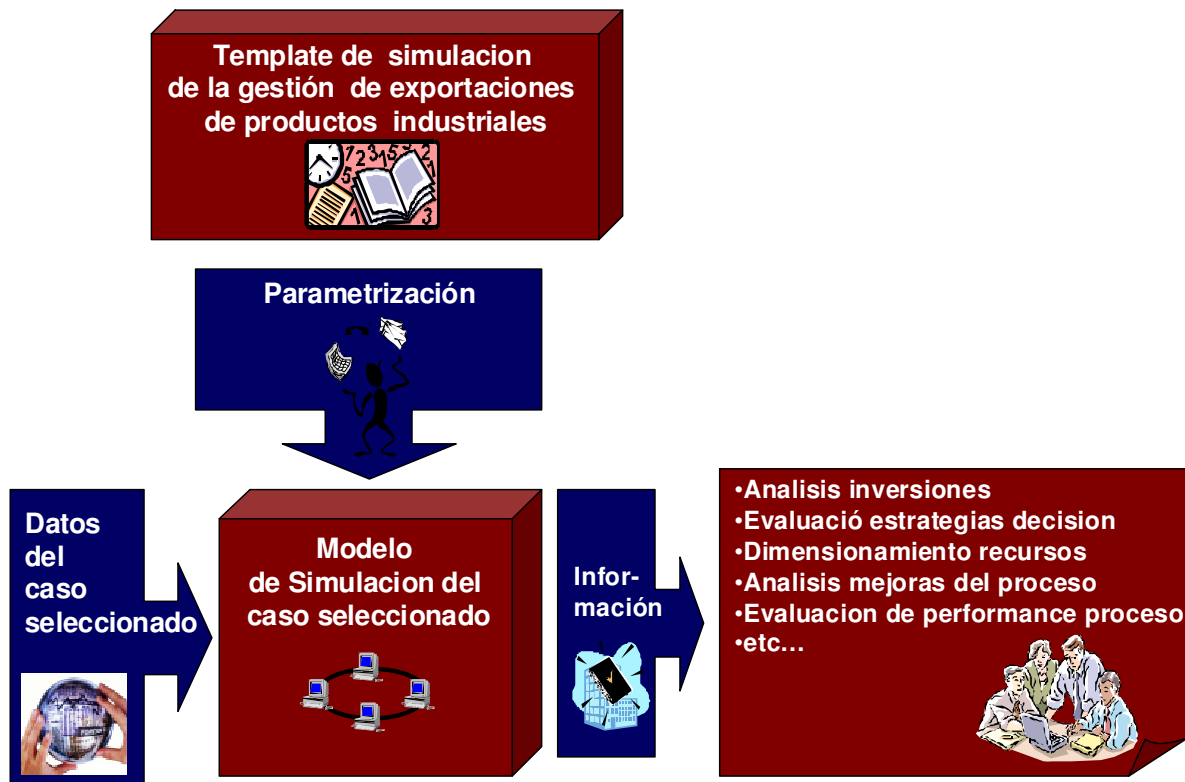


Figura 2

Este template simula tanto distribuciones de probabilidad como reglas de decisión y programación. La simulación, que no es otra cosa que la imitación durante un período de tiempo de un proceso o sistema del mundo real. La simulación es una herramienta que ofrece un análisis muy efectivo para mejorar los circuitos contenidos en una cadena de abastecimiento. Para aplicar esta herramienta se requiere la aplicación de conceptos estadísticos, análisis de procesos y evaluación de alternativas desde el punto de vista económico entre otros.

El template presenta no sólo la ventaja de ser fácilmente parametrizable para poder adaptarse a distintos casos, sino también la posibilidad de simular un sistema desde el momento que se requiera. El template puede reflejar el estado del sistema real al momento de comenzar la simulación.

Para evaluar la utilidad de la herramienta confeccionada se va a tomar un caso de referencia a partir del cual se van a generar datos para alimentar el modelo y poder obtener evidencias numéricas de la efectividad de la utilización del template como herramienta de gestión.

1.3. Análisis del nivel de flexibilidad de templates de simulación

Por último surge como objetivo determinar el nivel de flexibilidad que se puede alcanzar en la construcción un template de un modelo de simulación de manera que sirva para diferentes casos.

Para evaluar este objetivo se va probar la parametrización del modelo con un caso real. El caso elegido para este análisis es el de la empresa Tenaris-Siderca, ubicado en la ciudad de Campana, provincia de Buenos Aires.

2. Supply Chain: Modelos, planificación y aplicación de simulación.

Supply Chain o cadena de abastecimiento es un sistema que incluye todos los procesos involucrados en el flujo de materiales, información y dinero entre proveedores y clientes, desde el origen de las materias primas hasta el consumidor final.

Cada producto, empresa o industria puede definir un modelo de supply chain distinto. El modelo de la cadena no es otra cosa que la definición de su estructura, su operatoria y su estrategia. Dependiendo del modelo definido, se aplican diferentes tácticas de planificación.

El planeamiento o planificación de la cadena de abastecimiento, implica combinar todos los esfuerzos de la producción y distribución de un producto de manera de hacerlo con el mejor nivel de servicio y con los más bajos costos.

2.1. Modelos de supply chain

Se pueden dividir las empresas en dos grandes grupos: las que producen bienes y las que producen servicios. Que una empresa comercialice un servicio no significa que no forme parte de una cadena de abastecimiento, sólo que en general estas cadenas difieren de aquellas que producen bienes. El desarrollo de este proyecto es en base a empresas productoras de bienes.

Dentro de las empresas productoras de bienes se encuentra una gran cantidad de industrias. Las empresas pertenecientes a la misma industria comparten, en líneas generales, las mismas características de oferta y demanda y utilizan modelos similares de cadena de abastecimiento.

La definición del modelo de cadena de abastecimiento va a depender del objeto que comercializa, ya sea un bien o un servicio, de la industria de la cual se trate y del tipo de producto que se este elaborando.

El modelo de supply chain representado en el template es característico de la comercialización de productos industriales cuyo flujo de materiales es el que se muestra en la Figura 3.

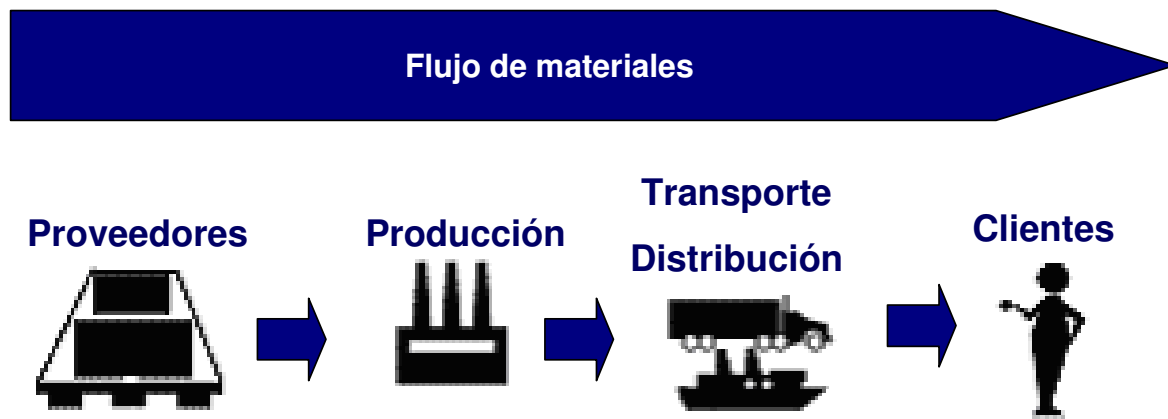


Figura 3

2.2. Planificación de la cadena de abastecimiento

La planificación de la cadena de abastecimiento implica la gestión de información, materiales y flujo de dinero entre proveedores y clientes de manera de alcanzar un óptimo nivel de performance.

El objetivo de una buena planificación de la cadena de abastecimiento es alcanzar un equilibrio entre el nivel de servicio que se le brinda al cliente y los costos que se afrontan para alcanzar dicho nivel de servicio.

Las planificaciones que deben realizarse son las siguientes:

- **Planificación del abastecimiento:** Esta planificación implica definir que comprar, cuando, como y a quien, en función de las necesidades planteadas por el área de producción. Se deben tener en cuenta cuales son las materias primas críticas, los lead time de cada proveedor-producto, los costos de stock inmovilizado, el cumplimiento de los plazos pactados con el área de producción y demás características propias de la gestión de compras.
- **Planificación de la producción:** Esta planificación comprende tomar las decisiones de cuanto producir, cuando, donde y como, en función de los requerimientos del área comercial.
- **Planificación del transporte:** Esta planificación es el conjunto de decisiones de como transportar, cuanto y cuando. Estas decisiones también se toman de acuerdo a los costos que implica cada alternativa y el nivel de servicio que se pretende alcanzar con el cliente.
- **Planificación de la demanda:** Esta planificación calcula el requerimiento futuro del mercado: que, como, cuanto, cuando y de que.

Para llevar a cabo las planificaciones mencionadas, se puede partir de la planificación de la demanda y a partir de esta realizar la planificación de transporte, en función a la cual se realiza la planificación de producción que se utiliza a su vez para planificar el abastecimiento o bien plantear las planificaciones en paralelo retroalimentándose mutuamente entre ellas.

La aplicación de la simulación a la planificación de la cadena de abastecimiento plantea que se realicen y/o revisen todos los planes en paralelo, de manera de que se retroalimente el plan de cada eslabón de la cadena con la información que se obtiene de la gestión de todos los procesos involucrados en la cadena.

2.3. Simulación aplicada a la cadena de abastecimiento

La planificación de la cadena de abastecimiento está basada en proyecciones que por supuesto pueden presentar variabilidad. La variabilidad es uno de los factores más críticos para quienes gerencian las cadenas de abastecimiento. En cualquier punto de la cadena se pueden presentar variaciones, como por ejemplo en la performance de un proceso de producción o en el lead time de un proveedor por citar algunos ejemplos.

La confección de un plan que contemple estas variaciones garantiza un gerenciamiento mucho más eficiente y mejores resultados que se traducen a su vez en buen nivel de servicio con los clientes y los costos más bajos.

Contar con una herramienta como un template de simulación para la planificación de la cadena de abastecimiento significa tener un modelo que contemple las posibles variaciones que se van a presentar. estas variaciones que se pueden presentar es posible evaluar escenarios futuros y elegir aquella opción de planificación que represente el plan más robusto, o aquella opción que en promedio obtenga el mejor comportamiento. También permite detectar posibles imprevistos y realizar planes de contingencia y prevención.

3. Desarrollo del Template

El template que se desarrolla es un modelo de simulación construido con flexibilidad de manera de que, una vez parametrizado, simule distintos casos.

Los pasos que implica la construcción de un modelo de simulación, son:

- la formulación del problema a resolver a través del modelo: se plantea la situación que motiva la construcción del modelo
- la definición de un modelo conceptual: es la definición de los procesos, relaciones, límites y premisas que establecen y fijan la estructura del modelo a nivel conceptual.
- modelo de datos: es la definición de los datos que alimentan el modelo
- modelo operacional: es la construcción del modelo en el lenguaje de simulación.
- diseño experimental: es la determinación de la cantidad de corridas necesarias para la obtención de resultados válidos

A lo largo de estos pasos, se realizan definiciones del proceso, de las entidades, recursos, datos y demás componentes del sistema, algunas de las cuales van a ser aplicables a cualquier sistema. Otras sólo se van a aplicar solo al modelo que se va a simular, lo cual no implica una limitación para la adaptación del sistema.

Muchas de las definiciones que se realizan a lo largo del modelo conceptual definen el modelo propuesto por el template para la mejora de la gestión, donde se integran los planos informativos, económico y físico del sistema.

A los efectos de demostrar la flexibilidad del template, y su función como herramienta adaptable a otros sistema, se va a anexar una guía de usuario del modelo. En este guía se van a detallar los pasos para parametrizar el template a cualquier sistema.

La guía parametrización del template busca ayudar al usuario a realizar todas las adaptaciones necesarias para que el template se ajuste a su caso. Se van a tener en cuenta una serie de situaciones alternativas con las cuales se cubre una gran cantidad de variantes del sistema.

Para el desarrollo del template se toma un caso de referencia que se va a tomar como guía para la generación de algunos de los datos numéricos que se utilizan como muestra para probar el correcto funcionamiento del template. Todos los datos numéricos que se utilizan en el template fueron validados con el Ing Julio García Velasco, referente del caso mencionado.

A continuación se comienza con la construcción del modelo, siguiendo los pasos definidos para realizar un modelo de simulación.

4. Formulación del problema

El primer paso en la construcción del template, es plantear el problema que se busca resolver con el desarrollo del mismo.

En este paso definen dos de los problemas más importantes a la hora de evaluar la performance de la gestión de los procesos dentro de la cadena de abastecimiento.

Los problemas que se plantean para este template son los siguientes:



Maximizar el cumplimiento de plazos de entrega de órdenes en tiempo y forma con el cliente



Minimizar los costos no estándar afrontados como son: retrasos, multas, costo por acelerar la carga, delta de costo por tercerización de órdenes, costos de stock etc.

El primer problema apunta a tener un buen nivel de servicio con el cliente, mientras que el segundo apunta a un aspecto económico como es el de minimizar los costos que se plantean como no estándar.

Estos son dos problemas típicos de la gestión de exportaciones de productos industriales y por esa razón se los eligió como la base sobre la cual realizar este template.

En caso que el caso que se quiere analizar no presente estos problemas o plantee otros problemas adicionales a los propuestos. En este caso se deben considerar estos nuevos problemas planteados y adaptar el template al problema planteado. Para facilitar la adaptación del template a cada caso particular se puede recurrir al instructivo que describe los pasos necesarios para realizar la parametrización del template.

5. Modelo Conceptual.

Un modelo es una representación abstracta que contiene relaciones lógicas, estructurales o matemáticas que describen un sistema en términos de su estado, las entidades que lo componen, los atributos de estas entidades, los procesos, eventos, actividades y demoras.

Como resultados del desarrollo del modelo conceptual se obtienen: la comprensión del problema, el propósito y los objetivos, el esquema argumental, la lógica del modelo, las variables relevantes y la estrategia del desarrollo del mismo.

El modelo conceptualiza las principales variables, entidades y circunstancias que se desarrollan para el caso que se seleccionó.

Se considera como base para el entendimiento del proceso de gestión de exportaciones al sistema real, se establece una serie de reglas y simplificaciones a fin de construir un modelo en el "mundo virtual" que capte las principales variables y circunstancias de la realidad.

5.1. Propósito y argumento del template

El propósito del template es analizar el proceso de gestión de exportaciones vía marítima de productos industriales, desde que se recibe una orden con el pedido de un cliente hasta que se haya realizado la entrega de materiales en el destino.

Por tanto se analiza de principio a fin el proceso que se está modelizando a través de las relaciones que existen entre las entidades y los eventos, las entidades entre sí y entre los eventos entre sí.

Se busca identificar el tipo de impacto que producen en la performance del proceso cada una de las decisiones que se deben tomar.

En el modelo pueden presentarse tres planos:

- Físico / Operativo
- Informativo
- Económico

Normalmente los modelos de simulación solo contemplan el plano físico / operativo. Este template contempla aquellas decisiones que surjan tanto de esos planos como del económico.

Se desarrolla de manera que se contemplen los tres planos, con el propósito de establecer una interacción y comunicación entre ellos.

Asimismo, se propone que la interacción entre los tres planos sea continua y constante, que los flujos de información tengan un ida y vuelta y que la misma parta no solo desde el plano informativo al plano operativo, sino que éste

alimente con información a aquel de manera de ajustar periódicamente los planes de acuerdo al estado del sistema. El template además plantea la integración de estos dos planos con el económico, es decir, que todas las decisiones que se tomen a este nivel estén nutridas del estado de los otros dos planos.

El nivel de integración entre los tres planos con el que cuenta cada sistema al momento de aplicar el template a su gestión va a depender del nivel de desarrollo que tenga la empresa y puede ser mayor o menor al que se presenta como nivel de integración inicial sin template. El nivel de integración y comunicación propuesto como inicial sin el template es genérico. El modelo sin template solo intenta reflejar una posible situación inicial sobre la cual se va a aplicar la herramienta de manera de mejorar la gestión. Dependiendo del nivel de integración actual que se tenga entre los planos, se va a lograr un mayor o menor nivel de mejora en la gestión de los procesos analizados.

A continuación se muestra un gráfico con la situación planteada como inicial donde se reflejan las relaciones que se presentan entre los tres planos y un segundo gráfico considerando el template como herramienta de gestión y planificación.

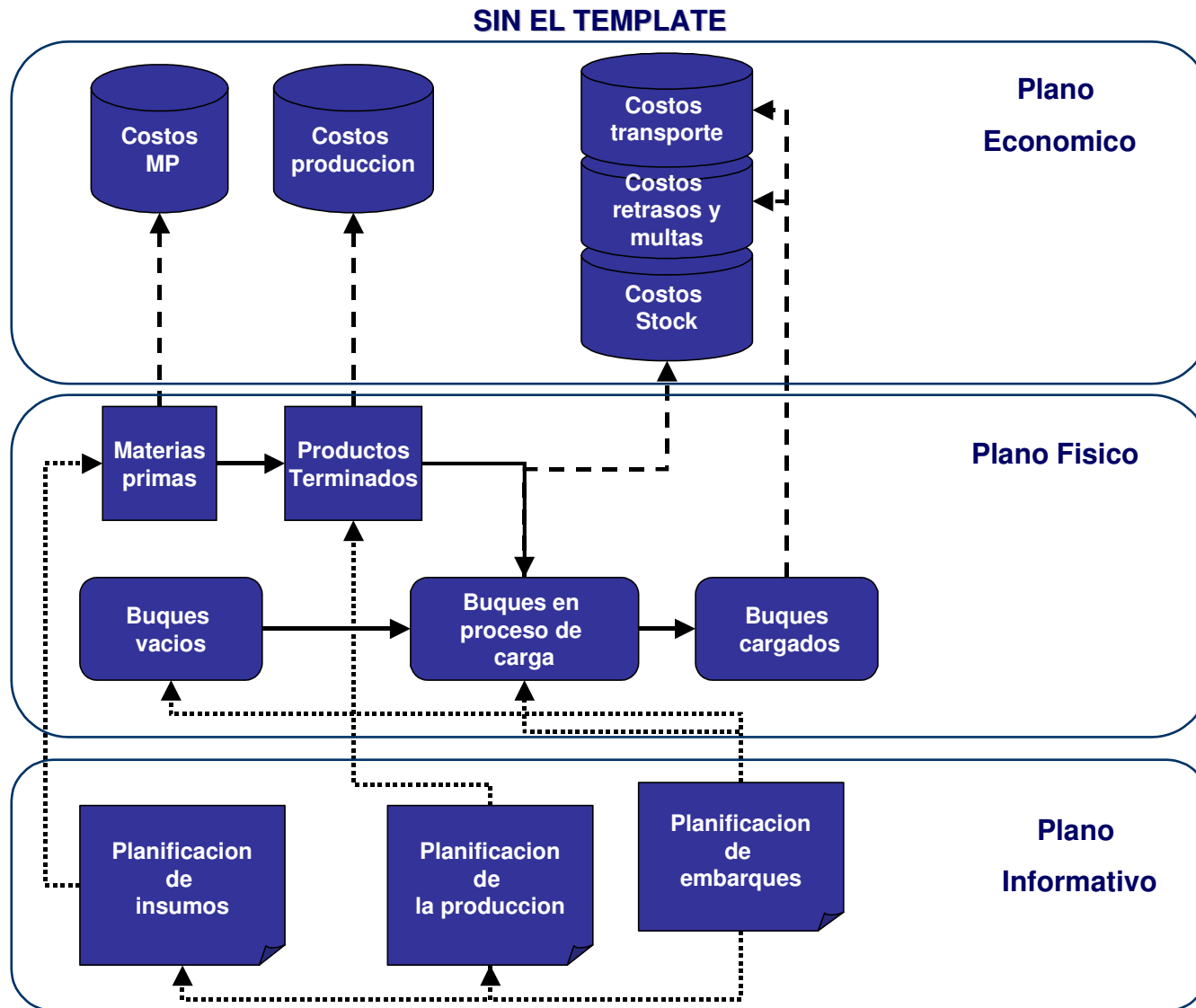


Figura 4

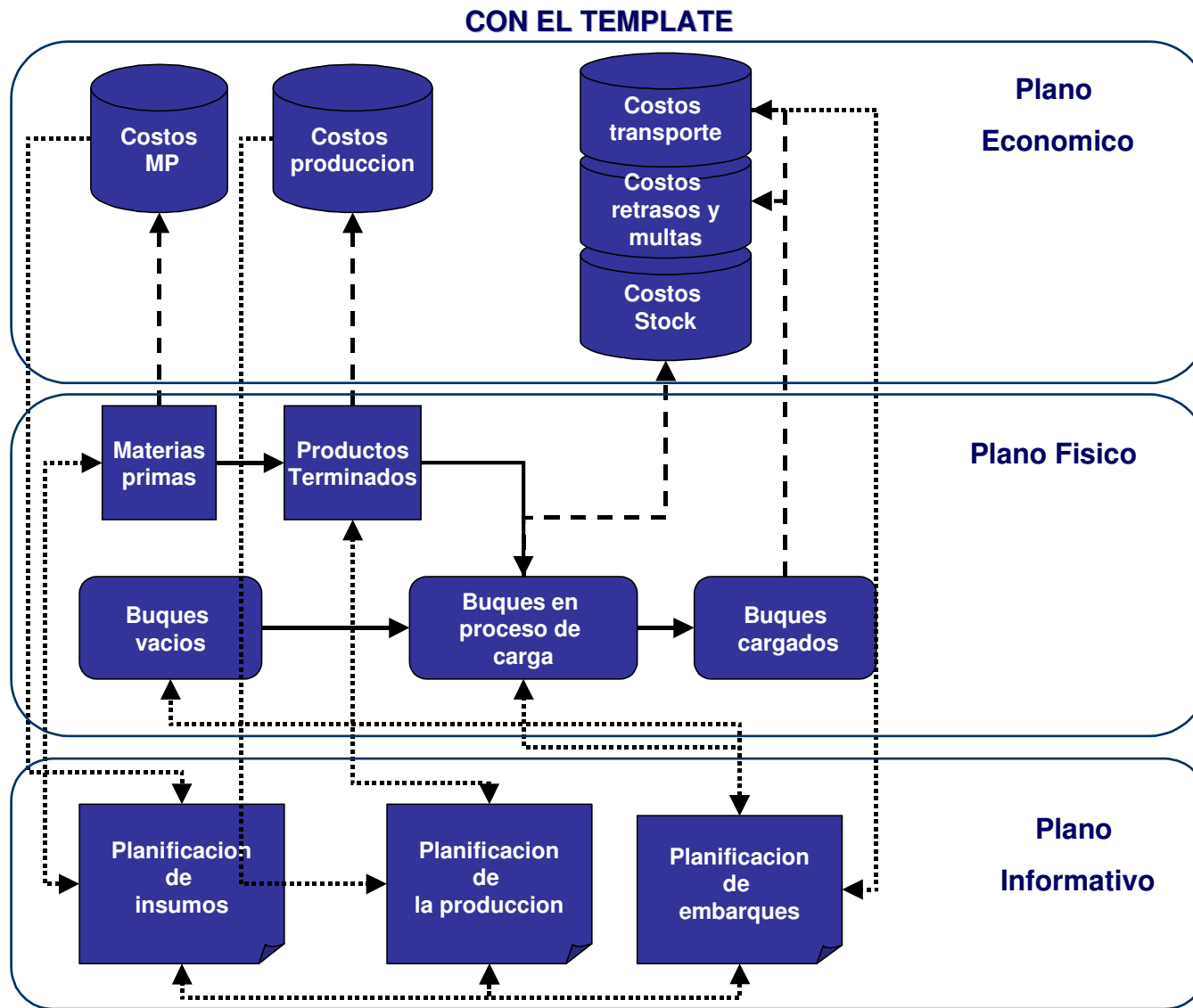


Figura 5

5.2. Objetivo e Indicadores

Se plantea como objetivo del proceso que se está modelizando, el cumplimiento de las condiciones pactadas con los clientes, realizando la entrega de los productos en tiempo y forma al menor costo posible.

Este proceso constituye parte de la cadena de abastecimiento, por lo tanto se debe considerar la integración del mismo con el resto de la cadena de abastecimiento.

El template está centrado en los procesos de producción y despacho pudiéndose ampliar el modelo, agregando el proceso que se considere necesario para un mejor análisis de cada caso particular.

Cada caso presenta sus propios objetivos, cuyos valores metas van a depender exclusivamente de sus datos y su performance.

Los objetivos que se plantean deben estar ligados a indicadores que evalúan la performance del proceso simulado.

- Como primer objetivo se plantea que el porcentaje de órdenes entregadas en tiempo y forma sea mayor al 80%. Es decir, del 100% de órdenes que se producen y despachan, se espera que el 80% lleguen al cliente en tiempo y forma.
- Como segundo objetivo se propone que los costos de stock y de envío no estándar sean menores al 65% dentro de los costos totales de stock y envío.

En el caso bajo análisis, los valores objetivos que se plantean fueron definidos a partir de los datos generados que se utilizan como muestra para probar el correcto funcionamiento del template y fueron validados por el Ing Julio García Velasco.

El primer objetivo apunta a medir la performance del proceso en relación al nivel de servicio que se le brinda a los clientes.

El segundo objetivo apunta a medir el proceso, ya teniendo en cuenta los costos de ejecución del proceso. En el punto 5.7 se detallan e identifican cuales son los costos involucrados en el proceso y su clasificación.

5.3. Características y contexto

A continuación se presenta el sistema y sus principales características.

El sistema que se va a modelizar comprende la planta, el puerto y los destinos hasta los cuales los barcos llevan los productos terminados.

Se consideró un sistema con esos tres componentes, por tratarse de subsistemas estándares que están involucrados en mayor o menor medida dentro de todos los procesos de despacho.

En la aplicación del modelo a cada caso particular se deben determinar el/los destino/s, la/s planta/s y lo/s puerto/s. También se puede plantear que se tienen dos o más sistemas actuando en conjunto, y parametrizar cada uno de los sistemas de acuerdo con el caso que se esté tratando.

Para definir las características y el contexto del sistema se podría dividir el mismo en tres etapas y desarrollar cada una; por otra parte se pueden definir las fronteras del sistema con respecto al exterior. Los tres módulos que se desarrollan son:

- El arribo de las órdenes y la producción de las mismas
- La operatoria del puerto que comprende principalmente carga de los productos a los barcos
- La llegada y partida de barcos

El proceso que se va a modelizar consiste en el arribo de órdenes desde el sector de planeamiento comercial de la empresa. Dichas órdenes indican los productos que se deben producir y el lugar donde se deben entregar.

A partir de las órdenes se elaboran los planes de producción y de embarque los que son revisados con una determinada frecuencia. La determinación de esa frecuencia, depende del circuito que se esté considerando y de los objetivos planteados.

Del plan de embarques surge la elección de los barcos que se utilizarán en el transporte, las opciones que brinda la empresa que presta el servicio y la elección de las órdenes cuyo embarque se va a tercerizar a través del puerto alternativo.

Del plan de producción se obtienen las decisiones acerca de la fecha de comienzo y fin estimado de producción para los diferentes productos; cabe mencionar que se considera que la producción se realiza toda en la planta de la empresa.

En caso que se trate de una orden cuya producción provenga de distintas plantas, se debe contemplar el transporte de los productos desde aquellas hasta el puerto.

Una vez que se obtienen los productos terminados que componen un pedido y el barco que va a realizar el envío está en el puerto, se realiza el transporte desde el almacén de la planta al muelle y se comienza con el proceso de carga.

Una vez que el barco tiene todos los productos que tiene asignados para transportar cargados o solo una parte de ellos, pero se decide que el barco abandone el muelle, este parte y lleva la mercadería a destino.

El detalle de las posibles desincronizaciones que pudieran existir a lo largo del proceso se consideran en el punto 5.4, donde se detallan todos los pasos del proceso.

A continuación, se muestra cual es el sistema que se va a representar en el modelo y los sistemas con los que interactúa.

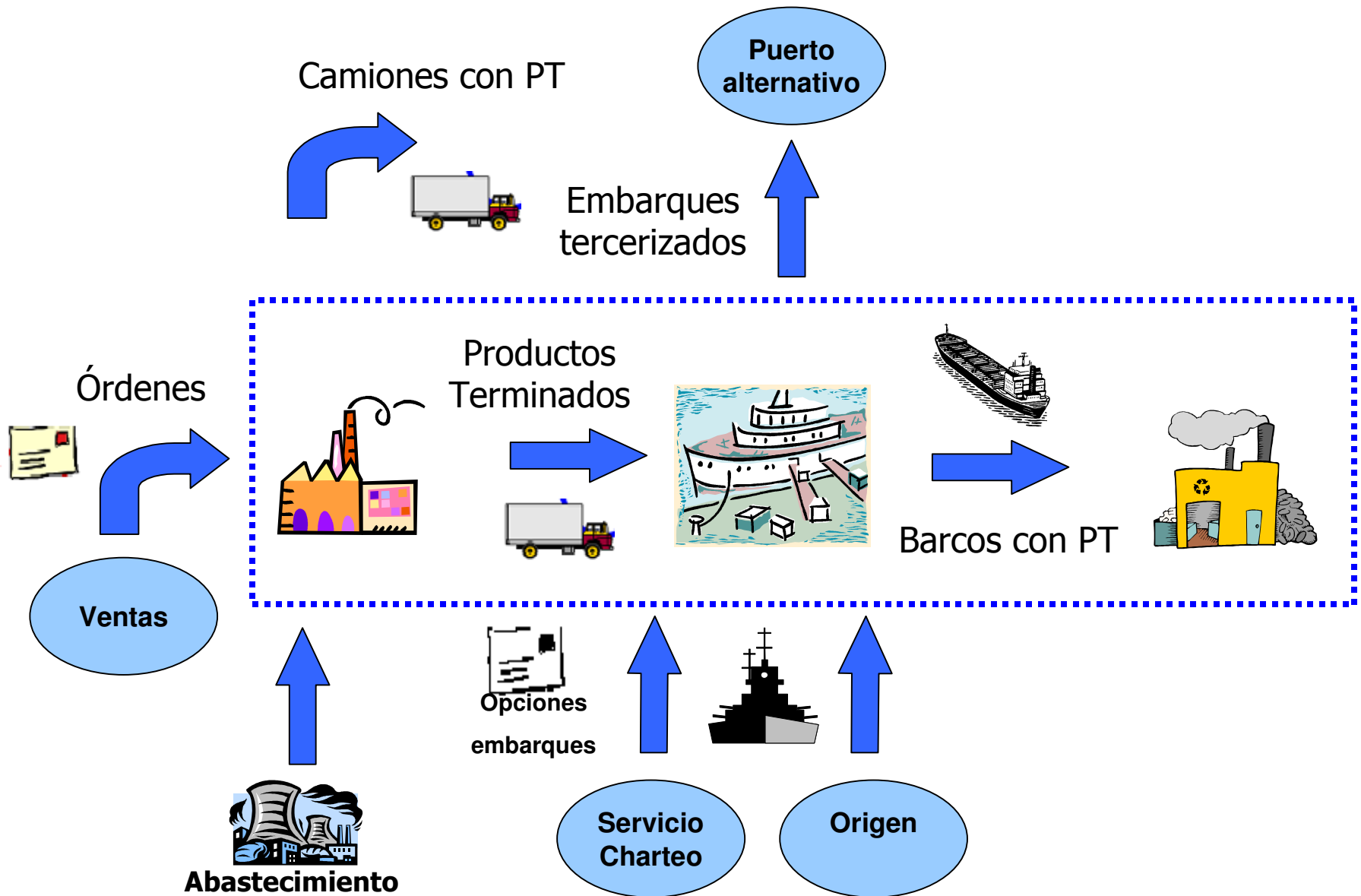


Figura 6

Como se puede ver en el gráfico, no se considera el ingreso a la planta de las materias primas intervinientes en el proceso de producción.

No se resta importancia al proceso de aprovisionamiento ni a la sincronización del mismo con la producción, pero se considera que excede el alcance del modelo.

Si bien se mencionó anteriormente la importancia de la integración de la cadena de abastecimiento, el foco del modelo no alcanza al proceso de aprovisionamiento. Por lo tanto, cuestiones como la no disponibilidad del puerto por la llegada de barcos con materia prima no se van a considerar. Fue definido de esta forma ya que, tener en cuenta este otro tipo de interacción, implicaría la planificación en conjunto de varios de los procesos que se desarrollan a lo largo de toda la cadena de abastecimiento, no siendo objetivo de este proyecto.

5.3.1. Características del primer módulo: El arribo de las órdenes y producción.

Entre las entidades que ingresan al modelo desde otros sistemas están las Órdenes de ventas.

Se considera que el área comercial envía al sistema las órdenes que deben cumplirse con una determinada frecuencia dependiendo del negocio y la empresa.

Se considera que el sistema no tiene control sobre las órdenes que llegan. Estas entidades ingresan al sistema con ciertas características y se mantienen invariables a lo largo de todo el proceso. Si una orden ingresa al sistema para un determinado cliente, con una cantidad pactada, fecha y destino de entrega, no va a cambiar ninguna de estas características.

Las órdenes ingresadas desencadenan la producción de la mercadería solicitada por el cliente. Dentro del sistema se definió que se encuentra la planta; ésta responde a esas órdenes que son su input, con los productos terminados que son su output.

El tiempo de producción va a ser variable dependiendo del tipo de producto y de otras características propias del proceso productivo como son la velocidad de los equipos, descartes, etc.

Podría suceder que se quiera aplicar el modelo a un caso que se trate de producción contra stock. En este caso, en las ordenes se va a presentar el conflicto de producir por lote óptimo el que se dimensiona teniendo en cuenta stock inmovilizado y la posibilidad de quiebre del mismo. También se podría adaptar el modelo de producción a configuración contra orden o ingeniería contra orden.

Para el caso presentado, se considera que se produce contra orden. Es decir, la producción se realiza a partir de un pedido y por la cantidad solicitada por el cliente.

En caso que se quiera aplicar el modelo a un tipo de producción distinto del planteado, se debe tener en cuenta la estrategia de planificación de la producción y considerar los criterios sobre los que se basa esta planificación para parametrizar el template,

El proceso de producción del caso presentado se lo simplifica, estableciendo como límites la capacidad de producción y un volumen de almacenamiento máximo.

Se considera que los insumos y el abastecimiento están por fuera del modelo, es decir no se contempla el arribo de materias primas ni la compra de insumos. Esta simplificación puede cambiarse en cada caso, contemplando por ejemplo la posibilidad de no disponer de las materias primas necesarias para la producción.

Si se quisiera contemplar variantes para evaluar también indicadores de performance del proceso productivo, se pueden establecer otros límites como por ejemplo: capacidad limitada de producir por sobre un límite, mediante la utilización de horas extra, tiempos de set up de los equipos involucrados, etc.

Una vez que los productos están terminados, se envían al almacén de PT. Se asume que el único lugar destinado al almacenamiento se encuentra dentro de la planta y la producción una vez finalizada se almacena únicamente en ese almacén con capacidad limitada.

Como fuera dicho, se considera que se tiene disponibilidad de la materia prima requerida en todo momento, no analizándose en este modelo el ciclo de abastecimiento, ni considerando los problemas que pueden ocasionar los retrasos en el arribo de las materias primas.

5.3.2. Características del segundo módulo: Operatoria del puerto

En esta etapa se van a tener en cuenta todas las actividades que se desarrollan en el puerto.

Las características que se establecen en esta etapa son:

- El puerto tiene capacidad para realizar las actividades de carga de un solo barco a la vez.
- El puerto tiene capacidad para que al menos 5 barcos estén anclados esperando para la carga o descarga de materiales en una zona contigua.
- El puerto no tiene área de almacenamiento, recibe los productos desde la planta cuando va a realizar la carga.

Se va a establecer un límite en los recursos de los cuales dispone el puerto, tanto económicos como de personal e infraestructura. Cada caso que utilice el modelo fija estos límites en función de sus recursos disponibles.

En esta etapa, se considera que los productos que están en el almacén se llevan hasta la zona del muelle y se cargan en el barco bajo las condiciones y limitantes que se establecen para la actividad de carga.

5.3.3. Características del tercer módulo: Llegada y partida de barcos

En cuanto a la llegada y partida de barcos se tienen los barcos que arriban al puerto para ser cargados y a posteriori partir hacia el destino planeado.

5.3.3.1. Barcos que realizan los envíos

Los barcos que se utilizan para realizar los despachos no son propiedad de la empresa sino que pertenecen a la empresa que chartea el servicio. Esta empresa ofrece distintas opciones de disponibilidad de barcos para elegir, cada una con un determinado costo.

Sólo se puede elegir entre las opciones ofrecidas, que consisten en la disponibilidad de algún tipo de barco para una fecha determinada, pudiendo enviar este barco sólo a los destinos que se detallen en la oferta.

Se considera que cada barco lleva la producción a un destino y puede tener asignada una orden o más, y partir desde el puerto con una sola orden parcial o completa, con todo el conjunto de órdenes que se le asignó o solo parte de ese conjunto.

Los barcos, mientras no están siendo utilizados por la empresa quedan bajo control de la empresa naviera, por lo tanto se considera que no están dentro del sistema. Sólo se computan en el momento que arriban al puerto y una vez que llegan a destino salen del sistema.

5.3.3.2. Destinos

Se definieron 5 destinos posibles a los cuales se van a realizar los envíos.

Como ya se mencionó anteriormente cada barco tiene asignado un solo destino, lo cual no implica que sea un solo puerto. Cuando se habla de destino, se considera una zona. Cuando a un barco se le asigna un determinado destino, puede tocar uno, varios o todos los puertos que contempla el destino hacia el cual viajó.

En este caso, el modelo va a contemplar un tiempo de viaje contemplando dentro del mismo las posibles paradas intermedias del barco desde que parte del puerto hasta que llega a su último destino.

Para cada uno de éstos se va a tener en cuenta la distancia entre el puerto y el destino. Se considera que cada barco va a un solo destino por viaje.

En este caso se definieron 5 destinos posibles, pudiendo cambiarse tanto el valor de la cantidad de destinos, como la distancia entre ellos y el puerto, dependiendo del caso que se esté analizando.

5.3.4. Fronteras o Límites del sistema.

A continuación se presentan los límites que separan al sistema presentado de otros sistemas periféricos.

En caso que se quisiera realizar un análisis mucho más profundo se podría integrar estos sistemas con los cuales se interactúa incluyendo todos los eslabones que componen la cadena de abastecimiento de la empresa.

- **Puerto alternativo:** Es un puerto al cual el sistema puede tercerizar embarques a un determinado costo. Existe la opción de que el puerto no tenga capacidad para el despacho de algún embarque. En este caso, se envían los productos al puerto alternativo y allí se realiza la carga y la gestión del envío a cambio de un costo determinado. Al tratarse de un puerto externo al sistema no se va a detallar su operatoria, pero a fin de realizar un análisis de la performance del sistema, se van a tener en cuenta todas aquellos embarques que se tercerizaron considerando el gasto incurrido en el envío y que los productos llegan a destino en tiempo y forma. Dentro del modelo se considera la figura de "puerto alternativo", pudiendo tratarse de mas de un puerto. En caso de que se quisiera ampliar el análisis se podría incluir la operatoria de cada uno de los puertos alternativos, copiando la operatoria del puerto que si se esta modelizando para cada uno de estos.
- **Empresa con la cual se tiene el convenio del charteo de barcos:** Esta empresa ajena al sistema, juega un papel importante aunque se encuentre fuera de éste. Existe entre esta empresa y el sistema un intercambio de información acerca de la disponibilidad de barcos, dependiendo de la fecha y los destinos. Se va a considerar un costo por la reserva de los barcos, por el transporte así como penalidades por demoras que pudieran ocurrir.
- **Programación Comercial:** Este sector es el que negocia las órdenes y sus condiciones con los clientes. Se considera fuera del sistema, mandando la información acerca de los envíos que deben cumplirse, datos de clientes, destinos, fechas y demás información de tipo comercial que requiere el sistema para tomar las decisiones y cumplir con los envíos.
- **Orígenes desde los cuales salen los barcos que van a realizar los envíos para la empresa:** Una vez que el sistema solicita alguno de los barcos para realizar el envío

de un pedido, éste debe transportarse hasta el puerto en cuestión, no estando contemplado ese viaje dentro del modelo; sólo se considerarán las condiciones climáticas que pudieran ocasionar retrasos en la operatoria.

- **Abastecimiento:** Toda la gestión y logística relacionada con el abastecimiento, se deja por fuera del sistema. Toda la gestión de compra, abastecimiento, tiempos de entrega, costos relacionados con la compra forman parte del circuito de abastecimiento que no está incluido dentro del alcance del modelo.

5.4. Estructura y funciones

El proceso completo se puede dividir en dos circuitos: uno de ellos informativo y el otro físico. Dentro del circuito informativo se realizan las planificaciones y se administran todos los datos.

Como output del circuito informativo se obtienen las planificaciones de producción y de embarques que van a servir como referencia para las decisiones que deben tomarse en el circuito de manejo de materiales físicos.

Se considera que la elaboración de los planes de producción y de embarques se lleva a cabo con una cierta frecuencia fijada a priori. Se pueden realizar ajustes durante la ejecución de los procesos de producción y carga que pueden consistir, por ejemplo, en cambiar la prioridad a las órdenes a producir en función de las circunstancias que se presenten y reasignar embarques a las distintas ordenes en función de posibles atrasos.

En este caso la frecuencia que se establece de revisión del caso que se va a simular es trimestral. El valor que se le asigna a esta frecuencia está íntimamente ligada con los objetivos que se planteen y los indicadores que se quieran medir. Hay indicadores que requieren que transcurra más o menos tiempo dentro del sistema para poder medirlos correctamente y obtener resultados significativos.

Si se quisiera utilizar el modelo para la evaluación de un proyecto de inversión probablemente se requiera correr el mismo durante períodos que oscilan entre 9 y 12 meses. Por otro lado si se quisiera hacer foco en el proceso de transporte y carga de los productos a los buques, se podría establecer una frecuencia semanal.

En este caso, los 3 objetivos planteados pueden ser evaluados con una frecuencia de revisión trimestral.

A continuación se detalla el proceso completo de comienzo a fin y el correspondiente flujograma en la Figura 7.

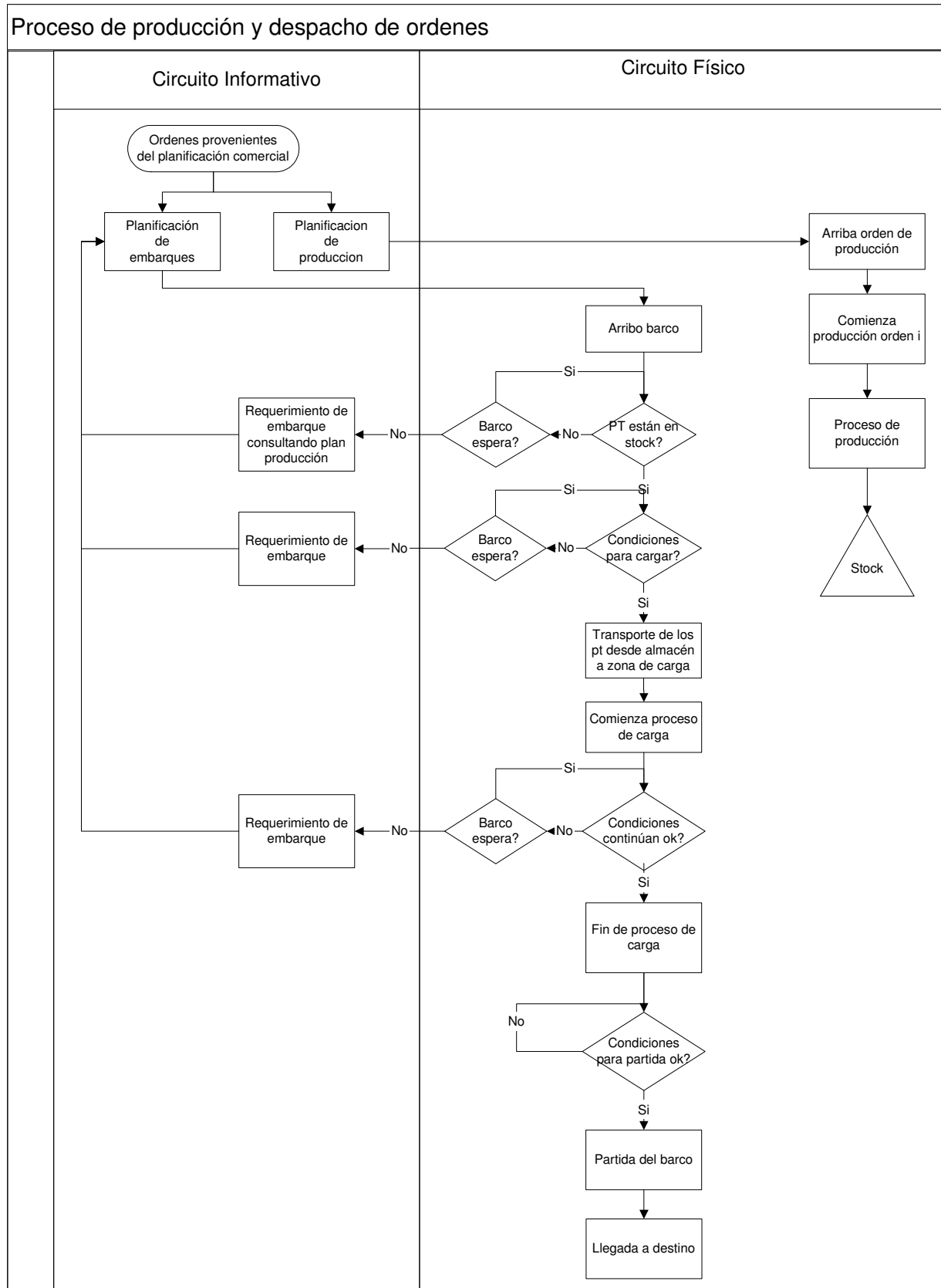


Figura 7

5.4.1. Arribo de Órdenes - Planificación de embarques y producción

Como punto de partida se tienen las órdenes a entregar en un determinado plazo, las cuales indican destino, cantidades, fecha de entrega y cliente. Se considera que desde el área de planeamiento comercial de la empresa, se envían las órdenes que deben cumplirse en un horizonte determinado de tiempo, que, como ya se estableció, para este modelo es trimestral.

Se considera que sólo ingresan órdenes con esta frecuencia.

Con las órdenes se confecciona la planificación de embarques y en función de ésta, la planificación de la producción. La revisión de esos planes se realizará con la misma frecuencia establecida.

5.4.1.1. Planificación de embarques

La planificación de los embarques consiste en decidir que barco va a utilizarse para transportar cada pedido. Dentro de esa planificación se encuentran los embarques que se van a tercerizar a través del puerto alternativo.

En esta planificación se estiman los días en que se va a realizar la carga de cada una de las ordenes asignadas a un determinado embarque, y el día de entrega de las ordenes en el puerto alternativo.

Los criterios con los que se confecciona esta planificación se establecen en el punto 5.6.1.1

5.4.1.2. Planificación de la producción

Como se planteó anteriormente, no se va a entrar en detalle del proceso productivo, sino que se va a tener en cuenta simplemente la asignación de tiempo estimado de producción y la fecha tardía de comienzo de producción estimada.

En caso que se plantearan objetivos e indicadores que para medir la performance de la producción se podría planificar la producción con un mayor nivel de detalle teniendo en cuenta decisiones como: cantidades a realizar de cada producto en caso que se trabaje con mix de productos, cantidad de horas extra a utilizar, etc

Se considera que la planta tiene una determinada capacidad productiva, y no puede excederse.

Los criterios con los que se confecciona esta planificación se establecen en el punto 5.6.1.2.

5.4.2. Producción

Del plan de producción se decide el momento en que una orden va a entrar a producción.

Una vez que una orden entra a producción, en función del ritmo con que se esté produciendo se obtiene el tiempo de producción que va a tardar la orden en estar terminada. La decisión del ritmo de producción a utilizar se detalla en el punto 5.6.2.3.

Una vez finalizada la producción, los productos terminados se almacenan y en el momento que se decide realizar la carga del barco se retiran del almacén y se transportan por camión hasta el puerto hasta el sector de carga; se comienza con el proceso de carga cuando el barco haya arribado al puerto y no este lloviendo.

En la tarea de producción se considera que si se excede la capacidad de stock máxima se frena la producción hasta que se libere el espacio en almacén.

La reacción del sistema al alcanzar el limite que impone la capacidad de almacenamiento máxima puede diferir en otros casos, siendo que en lugar de frenar la producción se envían los productos a otro almacén que se encuentra más lejos del puerto, con lo cual hay que considerar el transporte extra que significa traer los productos desde este almacén hasta el muelle cuando se quiere realizar la carga.

5.4.3. Arribo de los barcos al puerto

A partir de la planificación de embarques realizada se realiza el pedido de el/los barcos requeridos. Cada opción que brinda la empresa que administra los barcos tiene un determinado costo fijo y un costo variable que depende de los retrasos que se pudieran ocasionar: demorar el barco en el puerto más tiempo del previsto o retrasos en los tiempos de viaje.

Los barcos llegan al puerto de acuerdo al cronograma, pudiendo suceder que no arriben exactamente el día que estaba previsto debido a condiciones climáticas o atrasos en puertos en los que estuvieron antes.

5.4.4. Transporte de los productos desde el almacén al puerto

Una vez que se decide a proceder con la carga, se comunica al almacén y comienza el transporte desde el almacén hasta la zona de carga.

Este transporte implica la tarea de cargar los camiones, traslado de los mismos desde el almacén hasta el puerto y la respectiva descarga.

Se considera que a medida que arriban los productos a la zona de carga se puede comenzar con el proceso indicado. No es necesaria la espera a que esté la totalidad de la carga del barco transportada para comenzar la carga en el barco.

El transporte desde el almacén a la zona de carga comienza y termina conforme con la decisión de comenzar la carga, es decir, si se decide interrumpirla se suspende asimismo el transporte desde el almacén. Se considera que en el momento que se decide

interrumpir la carga, se finaliza con la carga de los materiales que están en proceso de carga, ya sea transporte o carga, y se interrumpe el transporte desde el almacén.

Se va a confeccionar el modelo de manera que se pueda contemplar el transporte como una actividad anterior a la carga en si misma, o que se contemple el transporte de los productos desde el almacén hasta la zona de carga dentro del mismo proceso de carga, estableciendo la duración del proceso con ambas tareas y la variabilidad correspondiente a ambas tareas.

Para el modelo se va a considerar que el transporte esta incluido dentro de la actividad de carga.

5.4.5. Carga de los productos en los barcos

Que la actividad de carga pueda llevarse a cabo en el puerto esta condicionada por:

- Factores climáticos: la carga y descarga esta condicionada por condiciones climáticas. La única condición climática que condiciona la carga es la lluvia. En caso que llueva la carga se interrumpe y se reanuda cuando deje de llover.
- La disponibilidad del puerto para esta operación: La operación de carga/descarga de otro barco que se va despachar condiciona la disponibilidad física del área de carga
- Problemas de calado: En caso que la altura del agua sea demasiado baja como para que el barco este en el muelle y sea cargado con productos, se debe esperar a que la altura del agua sea adecuada o se derive el barco a otro puerto.

En el caso de estudio que se va a simular con el template no se van a considerar las circunstancias en que hay un barco descargando mercadería y a causa de esto no se pueda realizar la carga. NO obstante el template cuenta con la flexibilidad necesaria para que esta situación pueda ser contemplada con la adecuada parametrización.

Si se va a considerar que otro barco este siendo cargado con productos, situación en la cual el barco debe esperar en la zona contigua al puerto.

En caso que se den condiciones climáticas adversas o haya problemas de calado, el barco esta en el puerto y para este modelo se va a considerar que le barco espera a que las condiciones sean favorables nuevamente, es decir el nivel del agua suba, y/o la lluvia cese.

Se podría contemplar que se envía el barco a otro puerto, pero para este caso en que se decidió trabajar con un solo puerto no se tiene en cuenta esta posibilidad que al igual que otras alternativas puede incluirse en la parametrización del template.

5.4.5.1. Comienzo proceso de carga

Para comenzar con el proceso de carga se deberá tener en cuenta que se cumplan las condiciones establecidas para este proceso. En caso que no exista disponibilidad en el puerto, porque los productos no se encuentran en stock, por condiciones climáticas desfavorables, o porque el nivel de agua no permite que se carguen los productos se debe decidir si el barco va a esperar a que las condiciones sean aptas para realizar la carga o no.

En caso de no esperar, se debe generar un nuevo requerimiento de embarque para todos los productos que se suponía que el barco iba a llevar y finalmente no lleva. Este requerimiento se debe procesar mientras corre el modelo.

5.4.5.2. Proceso de carga

Los tiempos que conlleva la carga de los pedidos en el barco van a depender del pedido (dimensiones) y del tipo de carga que permita el barco que se está cargando. Además hay que considerar en esta instancia la disponibilidad de recursos para realizar la carga. La cantidad de recursos disponibles para realizar la actividad de carga es limitada.

Durante el proceso de carga puede ocurrir que llueva o que el nivel de agua no sea apto para la carga y por lo tanto no se pueda finalizar. En caso que sucediera esto, se debe tomar la decisión si el barco va a partir con la cantidad de productos ya cargados o esperar a que las condiciones sean aptas y finalizar la carga.

La modelización de estas condiciones climáticas de lluvia o no lluvia puede ser tan complejo como se la defina. Se puede pensar que el modelo contemple: estacionalidad de las lluvias, zona geográfica y que se considere el estado del tiempo en los días anteriores, entre otros factores que van a determinar la probabilidad de que llueva o no. Para el modelo, se plantea que se va a establecer simplemente una única probabilidad de lluvia que se va a mantener constante a lo largo de todas las corridas y cuyo valor se establece en el modelo de datos.

Otra situación que puede impedir que se continúe con el proceso de carga es que el nivel de agua se más bajo de lo requerido para que el barco se mantenga en el muelle siendo cargado, conocido también como problemas de calado. En este caso se puede esperar que el nivel vuelva a la normalidad o derivar a otro puerto el barco.

Para el modelo, se plantea que se va a establecer simplemente una única probabilidad de que se presenten problemas con el nivel mínimo de agua requerido para continuar con la carga, que se va a mantener constante a lo largo de todas las corridas y cuyo valor se establece en el modelo de datos.

No se va a tener en cuenta el pronóstico del tiempo para la decisión de la cantidad de recursos que se van a destinar a la actividad de carga ni tampoco en la decisión de que el barco espera o no en puerto

Se tiene en cuenta la planificación realizada para decidir la cantidad de recursos asignados al proceso de carga, considerando que se puede acelerar la carga en los casos en que la carga este atrasada con respecto al plan. Se van a considerar dos ritmos de carga posibles, uno estándar y otro acelerado que se utiliza en aquellos casos en que se este atrasando la carga. Se plantea que el ritmo de carga acelerado tiene un costo mayor al costo de carga a ritmo estándar. La decisión de que ritmo de carga aplicar en cada caso se determina en el punto 5.6.2.2.

5.4.6. Partida de los barcos

Una vez que se completó la carga y el barco está listo para partir o una vez que se haya decido que el barco parta, este abandona el muelle.

Podría considerarse asimismo, que antes de la partida del barco se realice un control de tipo administrativo para chequear que toda la documentación correspondiente a las órdenes y al barco que se va a despachar estén en orden. En este modelo se decidió no contemplar este paso ya que se hace mas hincapié y análisis en el manejo de materiales e información y no en las tareas administrativas.

Por último se considera el tiempo de navegación, que va a depender en primer lugar del destino final del pedido, la posibilidad que haya destinos intermedios y circunstancias de tipo climáticas.

Una vez que el barco llega a su destino final se considera que sale del sistema, a fin de evaluar el cumplimiento o no de las condiciones de envío. La actividad de descarga en el puerto destino se dejó fuera del sistema ya que es una tarea que depende de cada puerto y cliente donde se entreguen y no influyen en los objetivos planteados por el proyecto. En caso de ser necesario, se podría incluir ampliando el alcance del template.

5.5. Entidades

Dentro del modelo se manejan entidades físicas e informativas, a continuación se detallan cuales son las entidades dentro de cada grupo.

5.5.1. Entidades físicas

5.5.1.1. Pedidos

Cada pedido u orden, tiene características o atributos propios que lo caracterizan. Se van a definir ciertos atributos que caracterizan los pedidos. De todos los atributos que se definan solo algunos se van a tener en cuenta en el caso simulado, ya que se van a

considerar solo aquellos que son importantes para la medición de los indicadores planteados.

La definición o no del valor de cada uno de estos atributos dentro del modelo, depende de los objetivos planteados.

Los atributos que pueden tener los **pedidos**, entre otros son:

- **Magnitud:** En este caso se mide en TN. Puede elegirse medir los pedidos en unidades, cajas, pallets, o la unidad que mejor se aplique al caso que se está analizando.
- **Costo de MP y MOD:** Se consideran cualitativamente. En caso que se quiera aplicar el modelo como una herramienta dentro de un análisis de un proyecto de inversión, se podría incorporar los costos y precios con valores cuantitativos e incluir estos valores dentro de las reglas de decisión que se incluyen en el modelo.
- **Destino:** En el caso tomado de referencia para la simulación del template se tienen en cuenta 5 posibles destinos y los pedidos que requieran ser transportados por barco a alguno de estos destinos. Se podría ampliar el alcance del modelo, incluyendo aquellas órdenes que requieren otro tipo de transporte ya que se deben tener en cuenta a la hora de disponer de recursos productivos, la sincronización de los trasposos entre los distintos medios de transporte, etc.
- **Fecha de entrega:** Se establece una fecha de entrega de los productos al cliente.
- **Cliente:** En el caso tomado de referencia para la simulación del template se tienen en cuenta 4 posibles clientes.
- **Mix de productos:** En este caso se trabaja con un solo producto. En caso que se quisieran evaluar el cumplimiento de pedidos de un determinado tipo de producto, por ser ese un producto crítico, se podría definir cual es el mix de productos. En este caso se trabaja con un solo producto, ya que se quiere analizar el cumplimiento de entrega de órdenes.
- **Volumen/Dimensiones:** En este caso se considera el volumen a la hora de asignar un embarque, ya que un barco puede llegar a soportar un pedido en cuanto a su peso pero que el diseño de sus bodegas no se adapte a la forma de los productos.
- **Categorización.:** Si bien en este caso no se consideran, ya que no es una característica significativa para los objetivos del modelo, a las ordenes o pedidos se les puede asignar una categorización. Dependiendo de la categoría que tenga cada orden se la va a tratar con mayor o menor prioridad en las diferentes etapas del proceso. Estas categorías van a ser A, B o C. La variable que determina que una orden es de tipo A, o B o C, va quedar determinado por las políticas comerciales de cada caso. En este caso, con la categorización se quiere simbolizar rentabilidad,

urgencia y por lo tanto prioridad, siendo las ordenes de tipo A las mas prioritarias luego vienen las B y luego las C.

5.5.1.2. Barcos

Se definen ciertos atributos que caracterizan los barcos. De todos los atributos que se definen sólo algunos se van a tener en cuenta en el caso tomado de referencia, ya que se van a considerar solo aquellos que son importantes para la medición de los indicadores planteados.

Se definió que va a haber tres tipos de barcos: grandes, medianos y chicos.

Cada tipo de barco tiene una capacidad y un modo de carga distintos, incidiendo directamente en la velocidad de carga. Por ejemplo, al barco grande se puede acceder en paralelo a todas sus bodegas mientras que al chico no.

Los atributos que van a tener los **barcos** son:

- **Tamaño:** Este atributo apunta a la cantidad de peso que soporta el buque. Para el modelo se define de manera que pueda tomar tres valores: grande, mediano o chico y soportando una cantidad distinta de peso cada uno.
- **Velocidad de carga permitida:** Esta velocidad va a depender de la cantidad de bodegas que se puedan cargar en paralelo. Se va a medir en toneladas/hora. Podría haber diferencias entre un barco y otro en la velocidad de izaje de la grúa, en este caso se va a considerar una única velocidad de izaje, promedio de todas las velocidades de izaje que puedan presentarse.
- **Velocidad de navegación:** Este valor depende principalmente de las características de cada buque. No se va a tener en cuenta la velocidad en si misma para el modelo, sino que solo el tiempo total de navegación, que puede incluir paradas en varios muelles hasta llegar al destino final.
- **Dimensiones/Volumen:** Además del tamaño ya definido, se define el volumen de las bodegas que cada barco le puede destinar a la carga de productos. En este caso el volumen se va a definir de manera de definir la cantidad de TN de soporta por volumen, ya que se considera un solo tipo de producto y por lo tanto se tiene una relación entre TN y Volumen.

5.5.1.3. Camiones

Se debe definir el modo de transporte de los productos desde el almacén de PT hasta el puerto. En este caso el transporte seleccionado son camiones.

Los atributos que se le definen a estas entidades son: carga máxima, volumen máximo y velocidad de transporte.

Como se mencionó para los barcos se considera un solo tipo de producto y por lo tanto se tiene una relación entre TN y Volumen, por lo tanto se toma el menor de estos valores expresado en tn. Por ejemplo, si el camión en peso soporta 25 TN y en volumen soporta 35 se considera que la capacidad del camión es de 25 TN.

5.5.2. Entidades informativas

5.5.2.1. Planificación comercial

La planificación comercial es un conjunto de órdenes que abarca desde el momento considerado inicial de las corridas hasta un determinado horizonte de tiempo.

Con una frecuencia determinada, se actualiza la planificación agregando las órdenes nuevas y eliminando las que ya se cumplieron o procesaron. En el caso del modelo esta frecuencia se establece en 3 meses.

5.5.2.2. Plan de embarques

El plan de embarques consiste en un listado de barcos seleccionados para cada uno de los pedidos que deben ser entregados.

En este plan se tienen también cuales son las órdenes cuyo embarque se va a tercerizar.

De la planificación de embarque también surge una estimación de los días de carga para cada una de las órdenes y la fecha estimada de comienzo de carga para las órdenes asignadas a un barco así como también la fecha de entrega en el puerto alternativo para las órdenes asignadas al puerto alternativo.

5.5.2.3. Plan de producción

El plan de producción contiene datos de las órdenes como pueden ser: el tiempo de producción estimado de cada orden, la fecha tardía de comienzo de producción estimada o algún otro atributo que se defina.

En el caso de estudio se va a considerar la fecha tardía de comienzo de producción en función de la cual se va a realizar la planificación dentro del modelo.

5.6. Variables, Agentes y Decisiones

Dentro del circuito se deben tomar decisiones operativas y de planeamiento. A continuación se desarrollan cuales son las decisiones tanto operativas como de planeamiento.

Cada decisión que se toma, le asigna un valor determinado a una variable de control o varias.

Dentro del modelo se tiene variables de control, que son aquellas sobre las cuales se puede influir o decidir el valor que vayan a tomar y otra variables que representan el estado del sistema y su valor queda determinado por el comportamiento del sistema.

A continuación se detallan las decisiones que se toman en el modelo, que variables de control están relacionadas con cada decisión y cuales son las variables que representan el estado del sistema que se tienen en cuenta para tomar cada una de estas decisiones.

Por otro lado, cada decisión la toma un determinado agente, dependiendo de quien sea este agente la decisión y los criterios que se utilizan pueden diferir. La información con la que cuenta el agente, el cargo y nivel de responsabilidad dentro del proceso determinan que aspectos del sistema va a tener en cuenta a la hora de tomar las decisiones. Por lo tanto también se debe aclarar quien es que esta tomando la decisión.

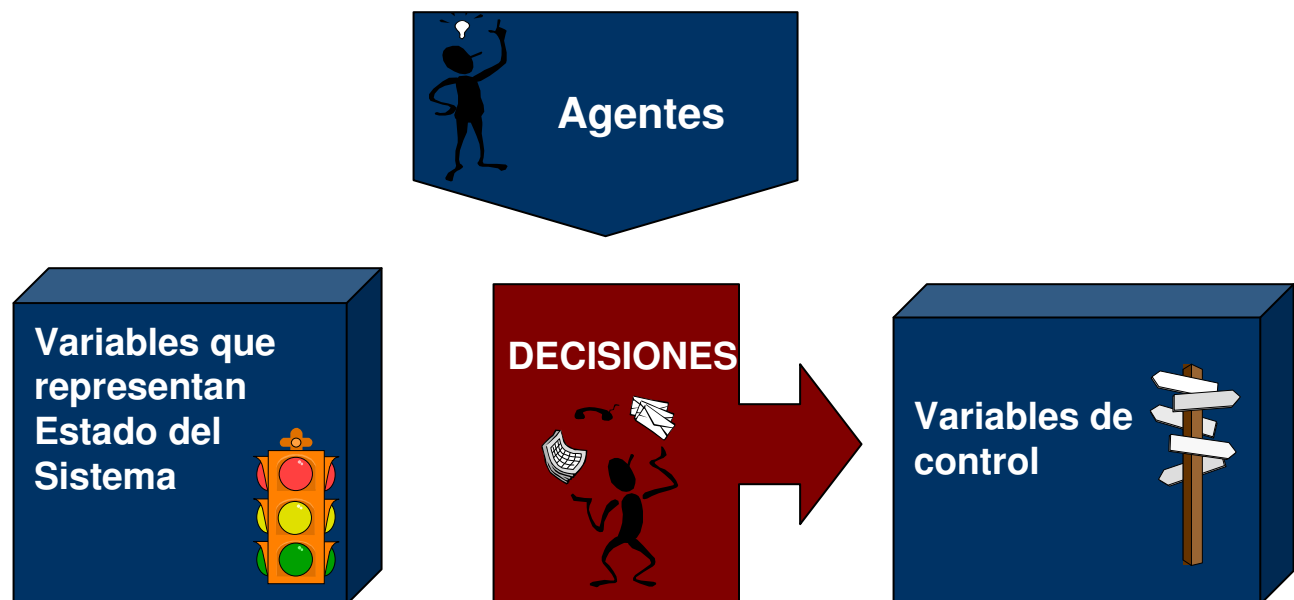


Figura 8

5.6.1. Decisiones de planeamiento

Dentro de las decisiones que se deben tomar están el diseño del plan de embarques y el plan de producción.

La elaboración de estos planes requiere establecer cuales son los criterios que se van a tener en cuenta en cada una de las estrategias de decisión.

El primer plan que se elabora es el plan de embarques, en función del cual se establece el plan de producción procurando poder cumplir con las fechas establecidas en el plan de embarques.

5.6.1.1. Elaboración de plan de embarque

Como ya se estableció anteriormente, para la elaboración del plan de embarque se parte del conjunto de órdenes a las cuales se les tiene que asignar embarque y de las opciones de embarque que propone la empresa naviera con la cual se tiene el contrato para el charteo de barcos.

Cuando se comenzaron a establecer los criterios de decisión para elaborar planes de embarque, se encontró que se requiere de un desarrollo de programación muy complejo que excede el alcance del modelo.

Por otro lado, del relevamiento de casos reales de elaboración de planes, se observó en que hay casos en que la elaboración de este plan es una tarea que no se hace automatizada, sino que se realiza de forma manual.

Por lo tanto, tomando como referencia aquellos casos en que el plan de embarques se realiza manualmente y teniendo en cuenta que el desarrollo de un programa que realice planes de embarque automáticamente excede el alcance del template y del proyecto, se plantea la elaboración de este plan de forma manual.

Se proponen ciertos pasos o reglas simples, para seguir como guía en el momento de la asignación de un barco a una orden o grupo de órdenes. Se establecen ciertos criterios simples para decidir en caso que se pueda tener más de una opción posible.

Los pasos o reglas son los siguientes

- 1) Agrupar las órdenes con la misma fecha de entrega y el mismo destino, que tiene por lo tanto la misma fecha de salida.
- 2) Buscar el barco que mejor se ajuste al conjunto de órdenes seleccionadas y que tenga para la fecha y los días subsiguientes disponibilidad del puerto.

3) Asignar a las ordenes un barco y el día estimado de comienzo de carga, verificando que el puerto este disponible en esa fecha.

4) Asignar al puerto los días en que va a llegar el barco seleccionado y en que se va a realizar la carga de manera de registrar la no disponibilidad del puerto en esos días para otros barcos.

5) En caso que haya más de un barco para ocupar el puerto en un mismo rango de fechas, elegir aquel que permite cargar la mayor cantidad de toneladas, de manera de tercerizar el envío de la menor cantidad de toneladas posibles.

Estas reglas se elaboraron sólo como una guía para la elaboración del plan y serían las mismas que se utilizarían en caso de desarrollar un modelo de asignación automática de barcos, que tenga en cuenta las nuevas órdenes que el Departamento Comercial recibe y aquellas que, por no haber cumplido lo pactado con el cliente, deben ser reprocesadas.

A continuación se presentan cuales son las variables de control y las variables que se proponen utilizar como criterio para establecer el valor de las variables de control.

Decisiones	Variables que representan el <u>ESTADO DEL SISTEMA</u> del sistema	<u>VARIABLES DE CONTROL</u> tenidas en cuenta en el modelo
Planificación Embarques	Fecha entrega en cliente	Asignación orden-barco
	Destino	Día planeado llegada del barco
	Cantidad de toneladas a cargar	Día planeado partida del barco
	Disponibilidad del puerto	Días de carga planeados
	Ritmo de carga	Fecha tardía comienzo producción
	Tiempo de viaje estimado	Cantidad de bodegas contratadas
	Costo de tn/barco	Fecha estimada comienzo de carga de la orden
	Costo de embarque tercerizado	
	Cliente	

Figura 9

Todas estas decisiones son previas a la corrida del modelo, es decir, todos los datos que se obtienen como resultado de la elaboración del plan de embarque son el input del modelo. Las decisiones son externas al modelo de simulación.

En los pasos descriptos anteriormente se estableció de que manera se tienen en cuenta las variables que representan el estado del sistema para elaborar el plan de embarques.

En este caso, el agente involucrado en el armado de la planificación de embarques se supone que es algún miembro de la empresa que pertenece al área de planeamiento logístico, y por lo tanto cuenta con toda la información que se está teniendo en cuenta en el modelo como base para el armado del plan.

5.6.1.2. Elaboración de plan de producción.

Si bien se planteó anteriormente que no se va a entrar en detalle en el proceso productivo, ni tampoco en la planificación, se vana definir dos posibles estrategias a seguir a la hora de decidir cuando comenzar a producir una orden.

Del plan de embarques, surgen las fechas de comienzo de carga para cada orden y en caso que se trate de una orden con embarque tercerizado, la fecha de entrega de los productos a quien se va a encargar de realizar el embarque.

Por otro lado, en función de la cantidad de toneladas o productos de cada orden, se establece un tiempo estimado de producción. Este tiempo se calcula a partir del ritmo de producción promedio de la planta.

A partir de esta fecha de comienzo de carga para cada orden y el tiempo estimado de producción se calcula la fecha tardía estimada de comienzo de producción.

Con el valor de la fecha tardía de comienzo de producción y la estrategia que se decida incluir en el modelo, se envían las órdenes a producción.

Estrategia I : Esta estrategia es de tipo FIFO. First In First Out.

Esta estrategia considera además que la producción es continua y no se para la planta. Por lo tanto, ordenando las ordenes por menor fecha tardía de comienzo de producción, se van enviando a producción en cuanto haya recursos disponibles, ya que se considera que no se para la planta.

Estrategia II: Esta estrategia es de tipo FIFO. First In First Out. Considera además que la producción puede ser continua o no y se puede parar la planta.

Esta estrategia considera que se puede parar la planta. Por lo tanto, ordenando las ordenes por menor fecha tardía de comienzo de producción, se van enviando a producción en cuanto la fecha sea dos días menor a la fecha tardía de comienzo de producción. De esta manera si hay mas de una orden con la misma fecha tardía de

comienzo de producción al enviarlas a producción antes de la fecha limite se puede cumplir con todas y por otro lado se intenta minimizar el stock.

Si bien con los dos días que se definen no se asegura que se cumpla con todas las ordenes que compartan la fecha tardía de comienzo de producción, es el criterio que se adopta para el modelo, pudiendo cambiarlo en caso que no sea adecuado para el caso que se quiera analizar.

A continuación se presentan cuales son las variables de control y las variables que se proponen utilizar como criterio para establecer el valor de las variables de control.

Decisiones	Variables que representan el <u>ESTADO DEL SISTEMA</u> del sistema	<u>VARIABLES DE CONTROL</u> tenidas en cuenta en el modelo
Planificación de la producción	Capacidad maxima de produccion	Cantidad de turnos que opera la planta
	Fecha tardia comienzo produccion	Produccion continua o interrumpida
	Estrategia de stock	Momento de comienzo de producción de la orden
	Ritmo de produccion	
	Costo de MOD	

Figura 10

En este caso como se trabaja con un solo tipo de producto no se considera el tiempo de set up dentro del proceso de producción, así como tampoco el costo de mano de obra, para decidir en que momento producir cada orden.

La decisión del momento de comienzo de producción va a estar dentro del modelo de simulación, mientras que la cantidad de turnos en que va a operar la planta y la decisión de tener un sistema de producción continua o interrumpida es externa al modelo de simulación y se fija el valor de cada una de ellas como input.

En este caso, el agente involucrado en el armado de la planificación de la producción se supone que es algún miembro de la empresa que pertenece al área de planeamiento de la producción, y por lo tanto cuenta con toda la información que se está teniendo en cuenta en el modelo como base para el armado del plan.

5.6.2. Decisiones operativas

Dentro de las decisiones operativas se tienen las siguientes decisiones:

- El momento en que parte el barco

- Asignación de recursos de producción
- Asignación de recursos de carga

5.6.2.1. Decisiones del momento en que parte el barco

La decisión del momento en que parte el barco esta incluida dentro del circuito del modelo de simulación y se establece un criterio que detalla todas las circunstancias en las cuales se considera que un barco puede abandonar el muelle.

Se considera que el agente a cargo de tomar esta decisión es un empleado de la empresa que trabaja en el sector logístico, cuya tarea específica es gestionar y controlar la carga de los barcos.

A continuación se presentan cuales son las variables de control y las variables que se proponen utilizar como criterio para establecer el valor de las variables de control..

Decisiones	Variables que representan el <u>ESTADO DEL SISTEMA</u> del sistema	<u>VARIABLES DE CONTROL</u> tenidas en cuenta en el modelo
Decision de partida de los barcos	Barcos en espera para ocupar el puerto	Cantidad de turnos de carga que espera el barco antes de irse
	Tiempo que el barco tiene en puerto (dias minimos- dias maximos)	Porcentaje con el cual se puede retirar el barco
	Cantidad de turnos sin carga con el barco en puerto	
	Porcentaje del total cargado en el barco	
	Costo de la espera	
	Costo de no esperar	
	Retrasos incurridos por lluvia	

Figura 11

Para la decisión del momento en que parte el barco se establecieron ciertos criterios en que el barco va a esperar o no una determinada cantidad de turnos, que duran 6hs cada uno o que se de una determinada combinación de condiciones que se establecen el circuito.

Los criterios que se establecen son propios de cada caso, para el modelo se seleccionaron una serie de criterios que tienen en cuenta el nivel del carga, la cantidad de

días que el barco esta en el puerto y que haya o no barcos esperando, así como también que el barco este en puerto y con las condiciones climáticas favorables no se este realizando la carga.

Se considera que un barco va a permanecer en el puerto hasta que se cumplan una de estas dos circunstancias:

- Se haya finalizado la carga que se le había asignado (en caso que haya ordenes canceladas se tiene en cuenta para no esperarlas a que sean cargadas)
- Sea el día planeado para que el barco abandone el puerto.

En caso que se finalice con la carga que el barco tenia asignada, el barco parte hacia el destino asignado.

En caso que sea el día planeado para que el barco abandone el puerto y no se haya finalizado con la carga se plantea el siguiente circuito de decisión:

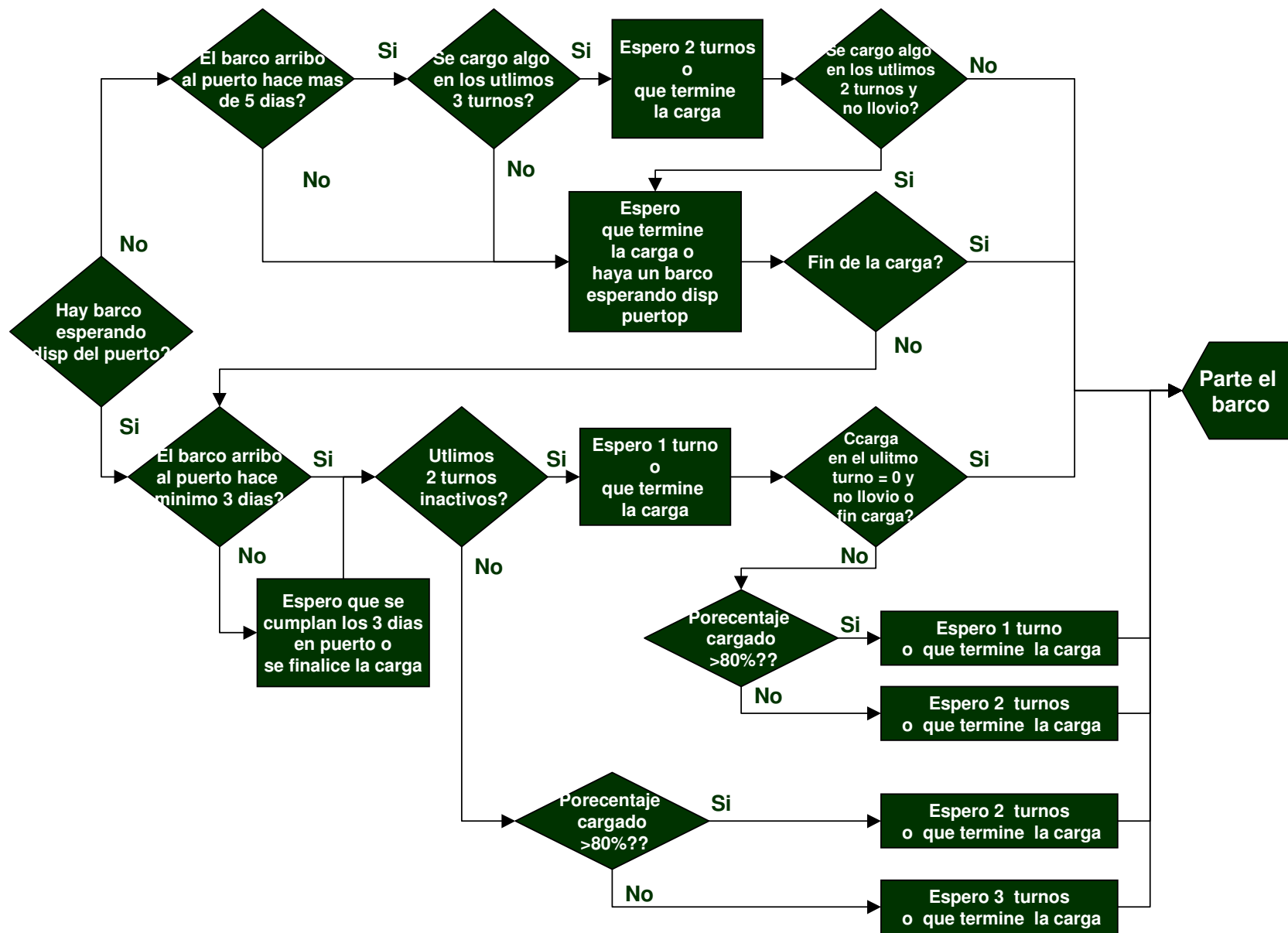


Figura 12

5.6.2.2. Decisión de asignación de recursos de carga

La velocidad del proceso de carga puede variar dependiendo de la cantidad de bodegas que se hayan contratado, del barco que se esta cargando y de la cantidad de recursos que se asignen a la carga.

Se dice que el ritmo de carga varía en función de la cantidad de bodegas contratadas porque si se contrato más de una bodega se pueden cargar en paralelo.

Por otro lado, se dice que puede variar el ritmo de carga en función de la cantidad de recursos ya que dependiendo de la cantidad de camiones y recursos humanos que se incluyan en el circuito de carga se va a tener un mayor o menor ritmo de carga.

Para decidir la cantidad de recursos asignados al proceso de carga se tiene en cuenta que esta se puede acelerar en los casos en que este atrasada con respecto al plan. Se van a considerar dos ritmos de carga posibles, uno estándar que se utiliza en la mayoría de los casos y otro acelerado que se utiliza en aquellos casos en que se este atrasando la carga. Se plantea que el ritmo de carga acelerado tiene un costo mayor al costo de carga a ritmo estándar. Se va a establecer un ritmo de carga que puede ser estándar o acelerado por bodega.

Por lo tanto se tiene, un valor de ritmo de carga del barco que va a depender de la cantidad de bodegas que se carguen en paralelo y del tipo de ritmo que se decida utilizar.

A continuación se presentan cuales son las variables de control y las variables que se proponen utilizar como criterio para establecer el valor de las variables de control..

Decisiones	Variables que representan el <u>ESTADO DEL SISTEMA</u> del sistema	<u>VARIABLES DE CONTROL</u> tenidas en cuenta en el modelo
Recursos asignados a la carga	Disponibilidad de recursos Cantidad de bodegas contratadas Fecha estimada comienzo de carga de la orden Costo de los recursos de carga	Ritmo de carga

Figura 13

Se considera que el agente a cargo de tomar esta decisión es un empleado de la empresa que trabaja en el sector logístico, cuya tarea específica es gestionar y controlar la carga de los barcos.

La decisión del ritmo de carga esta contenida dentro del modelo de simulación

5.6.2.3. Decisión de asignación de recursos de producción

A continuación se presentan cuales son las variables de control y las variables que se proponen utilizar como criterio para establecer el valor de las variables de control.

Decisiones	Variables que representan el <u>ESTADO DEL SISTEMA</u> del sistema	<u>VARIABLES DE CONTROL</u> tenidas en cuenta en el modelo
Recursos asignados a la producción	<p>Capacidad maxima de produccion</p> <p>Volumen promedio de produccion requerida</p> <p>Costos de produccion</p>	Ritmo de produccion

Figura 14

La determinación del ritmo de producción va a quedar condicionada por la decisión tomada anteriormente de la cantidad de turnos en que va a operar la planta y si la producción va a ser continua o interrumpida.

Se puede establecer una variabilidad del ritmo de carga estableciendo algún tipo de régimen de horas extra en caso que haya una orden atrasada y el barco este en el puerto.

5.7. Ecuación económica del proceso

Tanto para poder evaluar las decisiones que se tomaron en términos económicos y como para poder determinar el costo de gestión del proceso se debe determinar la ecuación económica del mismo.

Se va a determinar la ecuación económica general, de manera que cada caso que aplique el modelo a su sistema tenga una ecuación económica general del proceso, considerando luego para el modelo que se está simulando los datos que sean necesarios.

De todos los ingresos y costos que se definen, solo se van a considerar cuantitativamente aquellos costos que se quieren medir de acuerdo a los objetivos medidos.

El resto de los ingresos y costos se definen, pero no se los va a considerar en el análisis económico posterior a las corridas.

La ecuación económica genérica de la cual se parte para evaluar la ecuación económica del proceso es:

$$\text{Beneficio económico} = \text{Ventas} - \text{Costos}$$

5.7.1. Ventas

Se deben identificar cuales son los valores que representan las ventas y cuales los costos, y determinar cuales se requiere tener en cuenta para el modelo.

Se tiene que:

$$\text{Ventas} = \text{Precio} * \text{Cantidad}$$

El **precio** en este caso depende del destino, se va a cobrar el precio en función del destino ya que el costo del transporte corre por cuenta de la empresa.

La **cantidad** depende de cada orden.

Pueden determinarse varios tipos de productos y cada uno tendrá su precio correspondiente, además de depender del destino.

Para los objetivos calculados del modelo, no se tienen en cuenta los valores de las ventas ya que ninguno de los objetivos planteados está vinculado con el valor de las ventas o la utilidad. En caso que se quiera calcular utilidad y los objetivos del caso tengan que ver con la utilidad o las ventas, se pueden definir estos valores y realizar los cálculos y análisis correspondientes.

5.7.2. Costos

Los costos de cada orden involucrados en el proceso pueden dividirse en primer lugar en tres grandes grupos y son los costos de producción, los costos de stock y los costos del envío.

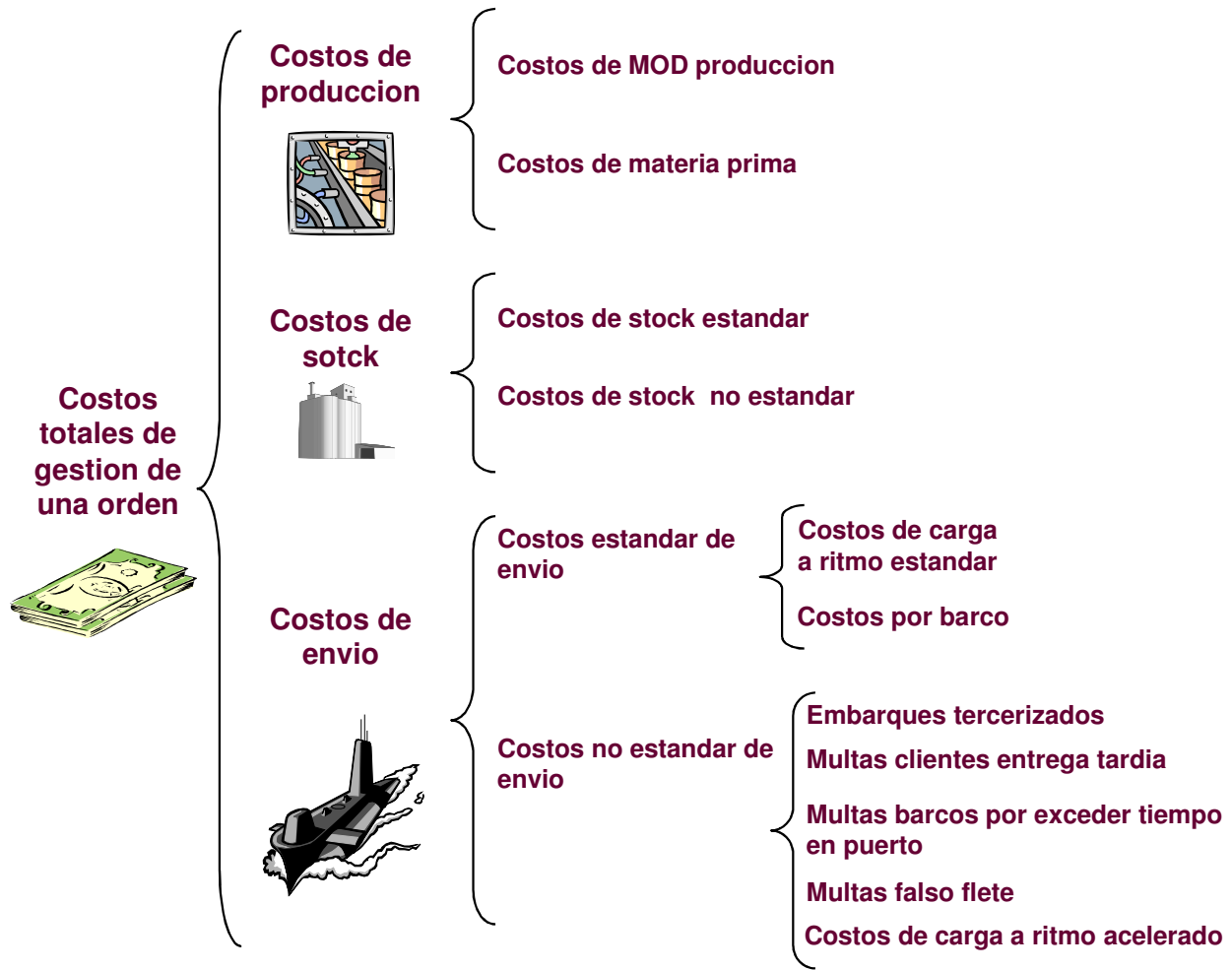


Figura 15

5.7.2.1. Costos de producción

Dentro de los costos de producción se tienen:

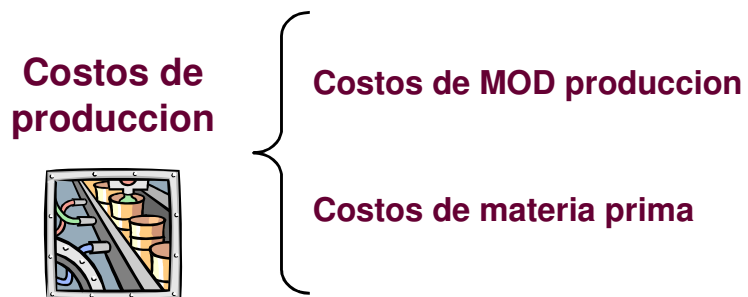


Figura 16

Costo de mano de obra directa de producción: Se deben considerar tareas en la cuales se aplica mano de obra directa de producción.

El costo de mano de obra de producción puede medirse en horas hombre por tonelada. Se deben considerar dos costos distintos de la hora hombre: uno para hora hombre estándar y otro para las horas extra.

De acuerdo a los objetivos planteados, en el caso del modelo que va a simular no se va a tener en cuenta el valor del costo de mano de obra de producción cuantitativamente, ya que se considera un único ritmo de producción y no se consideran horas extras.

En caso que se tuviera un sistema en que se reprocesan ordenes y exigen un costo de mano de obra de producción cuya variabilidad es relevante y requiere ser cuantificado, debería tenerse en cuenta.

El costo de mano de obra directa para producir una orden, puede ser representado como el costo por hora hombre requerida para producir la cantidad de toneladas de la orden, por la cantidad de horas hombre requeridas para elaborar la orden.

Costo de materia prima : El costo de materia prima podrá depender del tipo de producto y se concedería el costo por tonelada.

En el caso del modelo que se va a simular no se va a tener en cuenta el valor del costo de MP cuantitativamente, ya que los objetivos no requieren la medición de este costo.

En caso que se tuviera un sistema en que se reprocesan órdenes y exigen un costo de materia prima cuya variabilidad es relevante y requiere ser cuantificado, debería tenerse en cuenta.

El costo de materia prima de una orden, puede ser representado como el costo por tonelada de materia prima requerida para producir la cantidad de toneladas de la orden, por el precio por tonelada de la materia prima.

5.7.2.2. Costos de stock

Los costos de stock representan los costos financieros por capital inmovilizado y costos de oportunidad ya que el almacén se considera que es de la empresa. Estos costos se van a dividir en:



Figura 17

Se adopta como criterio que el tiempo de permanencia en stock estándar de una orden es igual a dos días. Para la medición y cálculo de estos costos se considera el costo por día por tonelada de producto.

Desde que finaliza la producción de una orden y los productos terminados ingresan en el almacén hasta que salen del almacén para ser despachados permanecen en stock una X cantidad de días. Si $X > 2$, el costo de stock de esa orden se calcula como:

Costo de stock = (X días * Costo stock por día por tonelada * Cantidad de toneladas de la orden)

De este costo de stock, el costo de stock estándar es igual a:

Costo de stock estándar = (2 días * Costo stock por día por tonelada * Cantidad de toneladas de la orden)

Mientras que el costo de stock no estándar es igual a:

Costo de stock no estándar = ((X-2) días * Costo stock por día por tonelada * Cantidad de toneladas de la orden)

La diferenciación que se realiza entre costo de stock estándar y costo no estándar busca identificar los costos de stock en los que se incurre por tener la producción finalizada con más anticipación de la necesaria.

Para poder calcularlo, se establece como criterio que la anticipación necesaria es de dos días. Este criterio depende del nivel de actividad de cada planta, los tiempos de producción y las políticas de stock de la empresa.

5.7.2.3. Costos de envío

Dentro de los costos de envío se tienen los costos de envío estándar y los costos de envío no estándar.

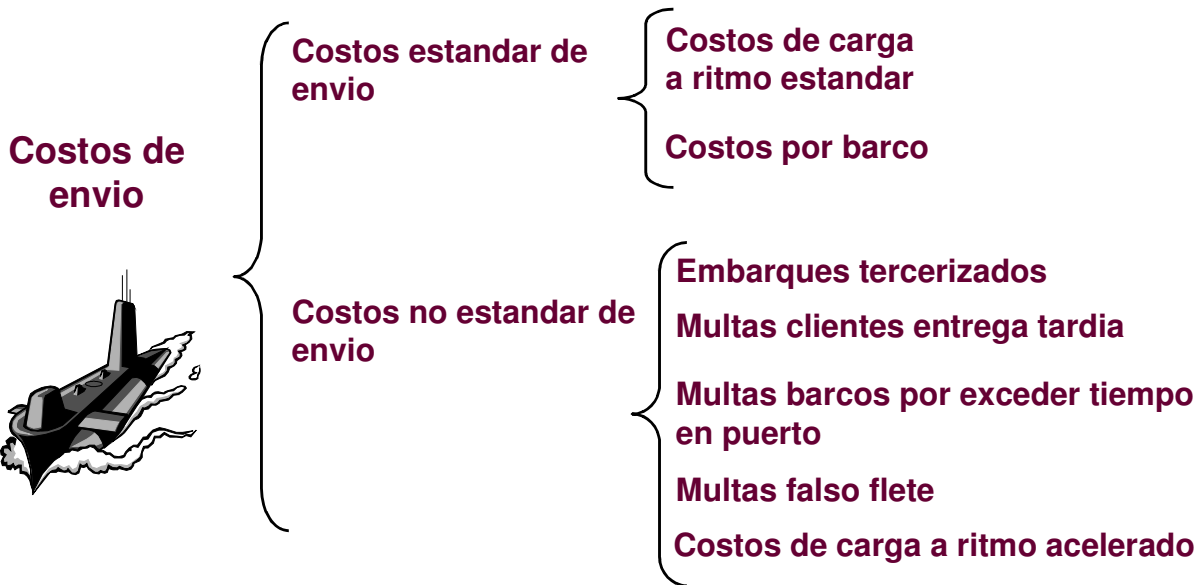


Figura 18

Se considera que el costo de envío estándar de una orden es la suma de todos los costos en los que se incurre para el envío de la orden si la carga del barco se realiza en el puerto a ritmo estándar dentro del tiempo planificado y se cumple con los tiempos de entrega, sin incurrir en ningún tipo de atraso.

Se considera que los costos de envío no estándar son todos aquellos costos que se abonan para procurar el envío de una orden que por diferentes causas no se pudo enviar a costo estándar.

A continuación se detalla que representa cada uno de estos costos y como se van a medir:

Costo de carga: El costo de carga representa todos los costos en los que se incurre para poder cargar los productos en los barcos.

Dentro de este costo hay costos de mano de obra y costos de camiones que transportan los productos desde el almacén hasta el muelle.

En el modelo se considera que en función de la cantidad de recursos que se asignen a la actividad de carga, esta se puede acelerar o atrasar dependiendo de las condiciones que se presenten.

Se va a tener un costo de carga en función del ritmo con que se este realizando la actividad. El ritmo acelerado va a tener un costo mayor al costo de carga a ritmo estándar. Este costo se va a medir en costo por tonelada.

Si una orden se cargo 40% a ritmo acelerado y 60% a ritmo estándar, el costo de carga de la orden va a ser:

Costo de carga = (Toneladas de la orden* 0,40) * Costo de carga a ritmo acelerado por tonelada + (Toneladas de la orden* 0,60) * Costo de carga a ritmo estándar por tonelada

Se pueden diferenciar los costos de carga estándar y los costos de carga no estándar:

Costo de carga estándar = (Toneladas de la orden* 0,60) * Costo de carga a ritmo estándar por tonelada

Costo de carga no estándar = (Toneladas de la orden* 0,40) * Costo de carga a ritmo acelerado por tonelada

En caso que se quieran desglosar el costo de carga, se podría separar en costo de transporte de productos desde el almacén a la zona de carga y costo de carga en sí misma. Para el modelo se va a considerar que el costo de la carga incluye los costos de transporte, sin discriminar entre transporte y carga.

Costo por barco: Para calcular el costo de los barcos que se contratan se considera la cantidad de toneladas por las que se contrata cada barco.

Este es un costo de envío estándar y se considera un costo por tonelada contratada que efectivamente transporta el barco

El costo de una orden que es transportada por un barco es:

Costo por barco = Toneladas de la orden* Costo de barco por tonelada

Costo de tercerización de embarques: En caso que se tercerice un embarque, se va a considerar el costo de la tercerización y la cantidad de toneladas que se envían.

Este costo si se va a considerar en el modelo y se va a definir el costo de tercerización en costo por tonelada en el modelo de datos.

El concepto tercerización de embarques simboliza a las órdenes cuyo embarque no se pudo ubicar dentro del plan y debieron ser tercerizadas.

El costo de la tercerización de embarque de una orden es mayor a la suma del costo de carga y el costo por barco para esa misma orden.

El costo de tercerización se mide por toneladas, siendo el costo de tercerización del embarque de una orden el siguiente:

Costo tercerización embarque = Toneladas de la orden* Costo de tercerización por tonelada

Costo por entrega tardía: En caso que una orden se entregue en el cliente más tarde de lo pactado, se va a pagar una multa con el cliente dependiendo del retraso.

Cada orden tiene una fecha de entrega y en todos los casos en que no se cumpla esta fecha de entrega se deberá pagar la multa.

Se va a considerar una multa por tonelada por cada día de retraso en la entrega. Es decir, si el 20% de una orden se entrega D días tarde el costo por entrega tardía es:

Costo por entrega tardía = (Toneladas de la orden*0,20) Costo por entrega tardía por tonelada * D

Costos de multas de los barcos por exceder los días en puerto: Cada barco tiene asignada una fecha en la cual debiera arribar y una fecha en la cual debiera abandonar el puerto. Es decir cada barco es contratado por tonelada y bajo la condición de permanecer en puerto una determinada cantidad de días. En caso que un barco permanezca en el puerto por más tiempo del contratado se va a pagar una multa por cada día de espera.

Este costo se va a considerar por día, pudiendo fraccionar por turno en caso que el barco se exceda en puerto menos de un día

Si un barco permanece en el puerto Y días por sobre los días por los que se lo contrató el costo de multas del barco por exceder los días en puerto va a ser:

Costo de multas del barco por exceder los días en puerto = Multa por día * Y

Este costo se lo va a asignar a todas las órdenes que son transportadas por el barco que esta excedido en su estadía en puerto.

Costo por falso flete: En caso que no se envíen la cantidad de toneladas por la cual se contrato un embarque se debe abonar una multa por cada tonelada reservada pero no despachada. Asimismo, si se contrato un barco por una determinada cantidad de toneladas, y luego se le quieren agregar más toneladas, también se va a abonar esta multa.

Se va considerar un costo por tonelada reservada y no despachada, igual al costo por tonelada despachada y no reservada.

Si un barco se lo reservo por X cantidad de toneladas y luego se despachan Y cantidad de toneladas, el costo por falso flete es:

Costo por falso flete = Multa por falso flete por tonelada * [Y - X]

Este costo se le va a asignar a cada una de las órdenes que provocan la diferencia entre las toneladas contratadas y las despachadas. A cada orden que tenía asignado un barco, y luego no es transportada en ese barco se le asigna este costo, al igual que a cada orden que no tenía asignado el barco en el cual es transportada.

6. Modelo de datos

El modelo de datos representa la cuantificación de todo elemento definido en el modelo conceptual. Es la estructura definitiva de aquellos datos que sirven de base para simular.

Esta instancia del desarrollo del modelo, es donde se debe buscar una gran cantidad de información y datos.

Como punto de partida para saber que datos se van a buscar se debe tener en cuenta el modelo conceptual ya realizado y definir a partir de este que datos se necesitan. Una vez que se definen que datos se van a buscar, se tiene que definir la fuente de la cual se van a obtener dichos datos. Es necesario determinar si se dispone de los datos que se requieren en alguna base de datos disponible o se deben realizar mediciones. Luego, para los datos que se requiera se deberá realizar el ajuste a alguna distribución de probabilidad. A partir del análisis estadístico de los datos recolectados se obtienen las muestras artificiales de datos, los valores de los parámetros del sistema y las relaciones entre las variables.

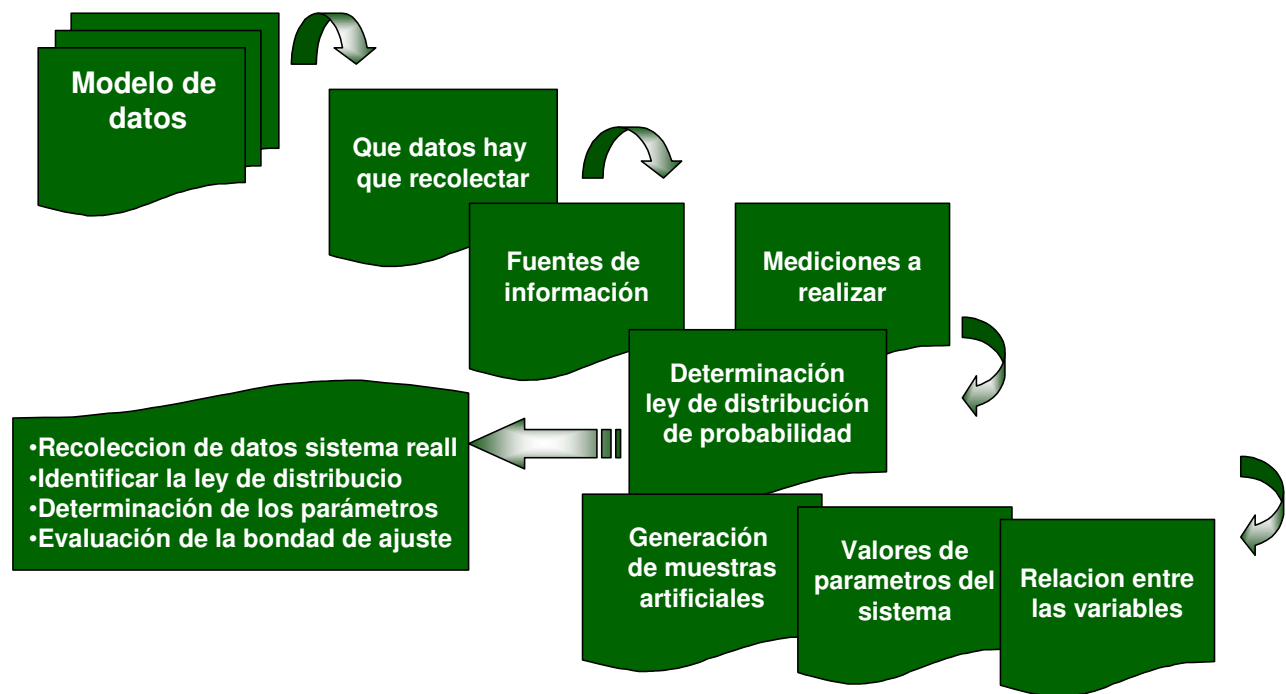


Figura 19

Para poder determinar la ley de distribución de probabilidad que mejor se ajuste a un determinado conjunto de datos se deben realizar los siguientes pasos:

- **Recolección de datos del sistema real:** Para recolectar los datos se deben realizar mediciones del sistema real y preparar un histograma de frecuencias con los valores medidos.
- **Identificar la ley de distribución:** Para poder identificar la ley de distribución que mejor ajusta los datos se debe tener en cuenta el tipo de proceso. Cada tipo de proceso suele tener una distribución de probabilidad asociada, por lo tanto se recomienda analizar las características del proceso y determinar cual debería ser la distribución asociada.
Por otro lado se debe aproximar la forma del histograma realizado con trazo continuo y compararla con la forma de la distribución que mejor ajusta al tipo de proceso que se esta analizando, de manera de confirmar que resulten similares.
- **Determinación de los parámetros:** Con la muestra de datos, y la ley de distribución identificada se deben calcular los parámetros de la muestra.
- **Evaluación de bondad de ajuste:** Se debe determinar la bondad del ajuste realizado y decidir si se va a utilizar ese ajuste o no.

Para realizar todo este proceso, se cuenta con una herramienta, como es el Input analyser que ofrece el software Arena, con el cual que se va a realizar la simulación. Esta herramienta devuelve a partir de una muestra de datos, cual es la distribución que mejor ajusta los datos y sus parámetros. También se puede decidir a priori con que distribución se quieren ajustar los datos y devuelve los parámetros para esta distribución. Además de los parámetros de la distribución, devuelve los test de bondad de ajuste ya realizados.

No siempre se puede utilizar el proceso de obtención de datos descripto, ya que en aquellos casos en que el proceso del que se quieren obtener datos no exista en la realidad se deben buscar métodos alternativos para generar la información como puede ser consulta a expertos, realizar aproximaciones y diseñar experimentos entre otros.

Este desarrollo del modelo de datos es el que más atención y re elaboración requiere a la hora de aplicar el modelo a un caso real. A continuación se detalla la obtención de datos para el modelo que se va a simular.

Los datos que se van a utilizar dentro del modelo, se pueden separar en Inputs del modelo y Outputs del modelo.

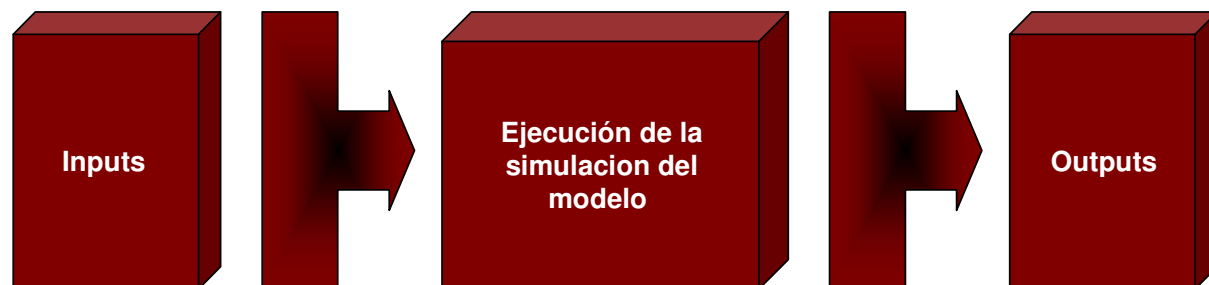


Figura 20

Entre los inputs se tienen todos los que alimentan el modelo para su funcionamiento y entre los outputs están todos los datos que se obtienen como resultado de las corridas del mismo.

Cada caso que se vaya a analizar con el modelo, debe ingresar sus datos de acuerdo a los objetivos que se hayan planteado y las mediciones que se quieran realizar con el modelo.

A continuación se presenta una breve introducción teórica estadística para entender el análisis de generación de los datos del modelo.

6.1. Breve introducción teórica de análisis de datos

Para asignar una distribución de probabilidades a un proceso es muy importante conocer el tipo de proceso que se está tratando ya que existen muchos tipos de procesos que tienen distribuciones de probabilidad asociadas.

Existen diversas distribuciones de probabilidad que fueron creadas para algún proceso específico. A continuación se presentan para algunas de las principales distribuciones y los tipos de proceso que suelen ajustar.

Distribución	Descripción	Fórmulas	Aplicación a la realidad
Binomial	<p>En un experimento que acepta dos resultados: "éxito" o "fracaso".</p> <p>El experimento se va a repetir n veces.</p> <p>La probabilidad de éxito es p, por lo tanto la de fracaso es $(1-p)$</p> <p>El número de éxitos r será una variable aleatoria.</p>	$P(r) = \frac{n!}{r!(n-r)!} p^r (1-p)^{n-r}$	<p>La aplicación más importante de esta distribución se encuentra en el control de recepción de lotes de mercadería.</p>
Poisson	<p>Es una sucesión de fallas o acontecimientos puntuales que ocupan individualmente una porción despreciable en un medio continuo.</p> <p>La probabilidad de que ocurra un número r de fallas en una extensión t de continuo es independiente de la posición de t dentro del continuo.</p>	$\lambda = \frac{\text{Numeromediodedefallas}}{\text{Unidaddeextensióndelcontinúo}}$ $P(r) = \frac{e^{-m} m^r}{r!}$ $m = \lambda \bullet t$	<p>Algunos ejemplos de este proceso son:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Cortes de luz en una ciudad – Llamadas telefónicas a una línea – Llegadas de personas a un comercio – Fallas de aislación en un proceso de fabricación de cable plástico – Fallas en un rollo de metal – Goles en un partido de fútbol – Accidentes de transito en una ciudad
Exponencial	<p>En el proceso de Poisson, la extensión de continuo entre fallas consecutivas también es una variable aleatoria, denominada variable exponencial.</p>	$F(x) = 1 - e^{-\frac{x}{\mu}}$ $\mu = \frac{1}{\lambda}$ $f(x) = F'(x) = \lambda e^{-\lambda x}$	<p>La aplicación de esta distribución es sobre los mismos procesos que la Poisson, tomando como variable aquellas que represente en continuo entre ocurrencias de los acontecimientos puntuales.</p>

<p>Normal</p>	<p>Una variable aleatoria que tiene distribución Normal responde a una función de densidad de probabilidad $f(x)$ y sus parámetros son:</p> <p>Media = μ Desvío = σ</p>	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \text{Exp} \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2 \right]$ $F(x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx$	<p>Esta distribución modela aquellos procesos que pueden ser pensados como la suma de otros subprocesos.</p> <p>Por ejemplo, el tiempo para en ensamblado de una pieza es el resultado de la suma de los tiempos que requiere cada operación que compone el ensamblado.</p> <p>Ejemplos de procesos que responden a esta distribución:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Diámetro de ejes producidos en una fabrica – Medidas antropométricas de individuos en un grupo homogéneo – Rendimiento de cosecha – Variables que se forman como la suma de muchas variables: Ventas de un producto en un periodo largo de tiempo, producción anual de una pieza, lluvia caída en una región en periodos largos, tiempo de un proceso conformado por varias tareas, etc.
<p>Uniforme</p>	<p>Aquellos procesos que presentan una completa incertidumbre y la variable aleatoria en estudio puede tomar cualquier valor siendo todos igualmente probables. En un intervalo (a,b)</p>	$f(x) = \frac{1}{b-a} \quad (a \leq x \leq b)$ $F(x) = \frac{x-a}{b-a}$	<p>Esta distribución si bien rara vez suele presentarse en la naturaleza, se utiliza en aquellos casos donde no se cuenta con datos y se considera que todos los valores son igualmente probables.</p>

Como último concepto de análisis de datos se van a presentar dos test de bondad de ajuste que permiten evaluar la calidad del ajuste de datos que se haya realizado.

Test Chi cuadrado

El test Chi cuadrado se utiliza para probar si una muestra de datos se adapta o no a una determinada distribución de probabilidad. Partiendo de un conjunto de datos y la hipótesis que supone que esos datos se ajustan a una distribución de probabilidad elegida, se realiza el procedimiento detallado a continuación.

H_0 = La variable aleatoria X se ajusta a la distribución de probabilidad planteada con los parámetros calculados.

H_1 = La variable aleatoria X **no** se ajusta a la distribución de probabilidad planteada

En primer lugar se debe calcular el estadístico de prueba que es:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(F_i - E_i)^2}{E_i}$$

donde:

F_i = Frecuencias observadas

E_i = Frecuencias esperadas

k = Número de intervalos

n = Número de observaciones

El valor que toma el estadístico de prueba calculado se lo compara contra el fractíl de área $(1 - \alpha)$ de la distribución Chi cuadrado, con $\nu = N - P - 1$, donde

N = Número de valores posibles de la variable

P = Número de parámetros que fue necesario estimar para poder calcular las frecuencias estimadas

α = Nivel de significancia.

Si el estadístico de prueba es mayor al fractíl crítico de la distribución Chi cuadrado

$\chi^2_{\nu; 1-\alpha}$, se rechaza la hipótesis H_0 . Caso contrario no se rechaza H_0 .

Test de Kolmogorov-Smirnov

Dada una muestra de observaciones numéricas independientes de una población (X_1, X_2, \dots, X_n) se desea ensayar que su función de distribución es una dada $F(x)$ completamente especificada. El procedimiento de ensayo consiste en los siguientes pasos:

1) Se ordenan los valores X_1, X_2, \dots, X_n en sentido creciente

- 2) Se calcula para cada valor X_j la función de distribución correspondiente, en la muestra y en la población, es decir, $\frac{j}{n}$ y $F(x_j)$
- 3) Se calculan las diferencias $\left| \frac{j}{n} - F(x_j) \right|, \left| \frac{j-1}{n} - F(x_j) \right|$ y su máximo:

$$D = \text{Máx}_j \left\{ \left| \frac{j}{n} - F(x_j) \right|, \left| \frac{j-1}{n} - F(x_j) \right| \right\}$$

Si la hipótesis nula es verdadera, la distribución de D solo depende del tamaño n de la muestra y sus fractiles críticos fueron calculados por F Massey, cuya tabla puede verse en Siegel (1991) o en Zar (1999). Para muestras grandes, mayores a 35 observaciones se utiliza la expresión asintótica:

$$D_{1-\alpha} \cong \sqrt{-\frac{\text{Ln}(\alpha/2)}{2n}}$$

6.2. Inputs del modelo.

Los inputs del template son todos aquellos datos que se requieren para que se pueda comenzar con la simulación.

Dentro de los datos que constituyen los inputs del template tienen los que corresponden a las órdenes, los que corresponden a los barcos y los generales del sistema.

Para realizar las corridas del template, se tomaron valores de un caso real que se tomaron como referencia para la generación de datos propios. No se pudo contar con los datos del caso relevado por cuestiones de confidencialidad de la empresa. Tampoco se pueden revelar, por el mismo motivo de confidencialidad los datos de los cuales se extrajo el análisis de datos y de distribuciones de probabilidad para la duración de las tareas.

Para la generación de estas muestras de datos a partir del caso de referencia, se respetaron las relaciones de volúmenes de órdenes, proporciones de los volúmenes de órdenes por destino y volúmenes por rangos de fechas. Una vez generada la muestra de datos, fue validada con el Ing Julio García Velasco, referente del caso de estudio.

Se parte de la base que se tiene un período para el cual se va a correr el modelo, y se contemplan todos los eventos y tareas que se van a desarrollar dentro de ese periodo, debiendo relevar todos los datos que se deben cargar para que la simulación corra durante ese periodo establecido.

En el Anexo I (Ver punto 12) se muestran el detalle con los datos generados.

6.3. Outputs del modelo

Como output del modelo se van a obtener los reportes estándar que ofrece el software, donde se analiza tiempo en sistema de las entidades, longitud promedio de las colas, tiempo promedio en las colas, entre otros.

En función de los objetivos planteados se determinan los indicadores que se van a medir, y en función de estos se debe tener en cuenta que datos se les va a pedir al sistema que devuelva como output.

En caso que no sea suficiente con los reportes que ofrece el Arena, se debe incluir dentro del modelo construido en Arena un módulo que permite la recolección de datos en archivos tipo txt, fácilmente exportables a Excel o Access.

En estos archivos se puede recolectar cualquier tipo de dato o información que el caso requiera. Se deben definir los tipos de datos específicos que se requieren como output del sistema y se parametrizan en el template.

En el anexo donde se detalla el desarrollo del template se especifica el modo de recolección de datos a partir de la corrida del template.

7. Modelo Operacional

En el modelo operacional se describe brevemente el template construido con el Software Arena. En el anexo II se tiene el detalle de la construcción del template con los inputs que hay que ingresar, como es la operatoria del mismo y cuales son los resultados que se obtienen.

7.1. Criterios para la selección del software de Simulación

La selección de un software de simulación se puede evaluar desde tres puntos de vista, desde los inputs, desde el procesamiento o desde los outputs.

Al evaluar un software desde el punto de vista del input, se tiene que considerar:

- La posibilidad de que se pueda realizar una interfase con algún lenguaje
- Capacidad de análisis de input
- Portabilidad, es decir la posibilidad de correr bajo windows, etc..
- Sintaxis, es decir la facilidad de aprendizaje de su lenguaje y operatoria
- Depurador de datos interactivo
- Flexibilidad de la modelización, es decir la flexibilidad que presenta el software cuando se quieren presentar variantes al proceso que se esta modelizando

Cuando se evalúa un software desde el punto de vista del procesamiento, se tienen en cuenta las siguientes cuestiones

- Velocidad de ejecución
- Tamaño máximo de modelos
- Forma de manejo de materiales

Finalmente, al evaluar un software desde el punto de vista de los outputs, se tienen en cuenta las siguientes cuestiones:

- Reportes estándares
- Análisis estadístico
- Salidas gráficas
- Facilidad de mantenimiento de datos

Considerando todas estas cuestiones, se seleccionó el software Arena.

Desde el punto de vista de los inputs el software Arena permite el análisis de datos de entrada, leer datos desde archivos Excel o txt, es portable, tiene una sintaxis fácil de aprender y una de las cuestiones más importantes es que es flexible a la modelización, punto indispensable para la construcción de este modelo tipo template.

Desde el punto de vista del procesamiento el software Arena se puede establecer la velocidad de las corridas y no presenta problemas de tamaño máximo de modelos.

Desde el punto de vista de los outputs el software Arena genera reportes estándares con información muy útil para el análisis de los procesos y genera también archivos con el detalle de los datos que el usuario quiera recolectar de manera de que cada uno pueda establecer los datos que quiera medir y obtenerlos en un archivo que se genera con las corridas. También permite que se haga una interfaz gráfica, aunque no es este el punto más fuerte del software seleccionado.

7.2. Breve introducción teórica al Software ARENA

El software Arena es un software de Simulación orientado a eventos y a procesos. El modelo se define en función de los procesos y la simulación se realiza en función de eventos.

Arena permite modelar el proceso a definir, simular su comportamiento, visualizar las animaciones y analizar el comportamiento del proceso.

A continuación se va a realizar una breve introducción teórica del funcionamiento del programa a fin de poder entender el funcionamiento del modelo.

No es el objetivo del proyecto desarrollar un instructivo del funcionamiento del Software. Se van a adjuntar en los anexos, referencias a guías de usuario del programa, en caso que se quisiera profundizar en el funcionamiento del programa.

Los elementos que forman parte de la simulación son: Entidades, Atributos, Variables, Recursos, Colas, Acumuladores Estadísticos,

Por otro lado se tienen Módulos de Flujos de Datos y Módulos de datos.

Entre los módulos de flujos de datos se tienen: Creación, Finalización, Proceso, Decisión, Batch, Separación, Asignación, Grabación, Retener.

Entre los módulos de datos se tienen: Entidades, Colas, Recursos, Variables, Schedule.

Detalle de algunos módulos

A continuación se va a realizar una breve introducción teórica de los principales módulos que se van a utilizar en el modelo.

Módulo Create: Punto de entrada para las entidades en la simulación. Hay que especificar el tipo de entidad y los tipos de llegadas que pueden ser random, Schedule, Constant o introducir una Expression

Módulo de finalización: Punto final para las entidades en el modelo de simulación. Las estadísticas de la entidad que tienen que guardar antes de eliminar la entidad.

Módulo de proceso: Se define un proceso y se debe aclarar el tipo de proceso, si es Submodel o Estandar. Las acciones que se desarrollan en el proceso pueden ser: Delay, Seize Delay, Seize Delay Release, Delay Release.

Módulo de proceso batch: Permite acumular entidades de manera temporal o permanente en la simulación. Se puede seleccionar por el valor de un atributo.

Módulo de separación Permite copiar una entidad que entra en varias entidades o dividir una entidad que anteriormente se habría agrupado.

Módulo de asignación Asigna valores a variables, a atributos de entidades, tipos de entidades, etc. Permite realizar varias asignaciones en un solo módulo.

Módulo de grabación Recoge las estadísticas del modelo.

Módulo de entidad Define los distintos tipos de entidades y las imágenes usadas en la simulación.

Módulo de cola: Define los distintos tipos de colas, por defecto define cola tipo FiFo pero se puede cambiar y ordenar por valores de atributos

Módulo de recurso Permite definir los recursos en la simulación. Incluye información de costes y disponibilidad. La capacidad puede ser fija o variable.

Módulo de variable: Este módulo de datos se usa para definir variables, las dimensiones de las variables y los valores iniciales.

A las variables se les puede reasignar valores en los módulos Assign, y se las puede tomar de referencia en otros módulos.

Las variables pertenecen al sistema, a diferencia de los atributos que le pertenecen a una entidad.

Módulo de planificación: Se puede utilizar para definir una planificación de operaciones para un recurso o las llegadas al sistema. Si el tipo es Calendar, permite definir series de valores que cambian con el tiempo. Permite representar excepciones, como unas vacaciones, bajas.

Módulo StateSet. El módulo StateSet se usa para definir estados para los recursos definidos en el sistema. Los estados se pueden asociar con estados automáticos o pueden ser nuevos estados. Se debe relacionar el módulo de recursos con este módulo.

Módulo Hold: Este módulo va a retener una entidad en una cola hasta que se de una determinada señal (wait for a signal), esperar a que una determinada condición sea verdadera (scan for condition), o va a ser retenida infinitamente.

7.3. Esquema del template construido en Arena

La construcción del template en el software seleccionado parte de ciertos criterios que son tenidos en cuenta como pilares de la herramienta y son:

- Flexibilidad
- Capacidad de realizar ajustes durante la simulación en función al estado del sistema
- Posibilidad de simular una sistema con reflejando distintos estados iniciales del sistema

Teniendo en cuenta estos criterios se construye el template en Arena presentando tres módulos principales que son el de órdenes, el de barcos y el del sistema.

El funcionamiento del template requiere la carga inicial del estado del sistema en donde se detalla el stock inicial, las órdenes pendientes de producir del período anterior, las órdenes pendientes de transportar del período anterior, el estado del puerto al momento de comenzar la simulación, y todos los datos correspondientes a las órdenes y la planificación de embarques del periodo que se va a simular. También se deben parametrizar datos característicos de las distribuciones adoptadas, características y restricciones propias del sistema que se esta simulando. En el Anexo donde se detalla la construcción del modelo se presenta el detalle de todos los valores iniciales que deben ser cargados para el comienzo de la simulación.

Inputs del template

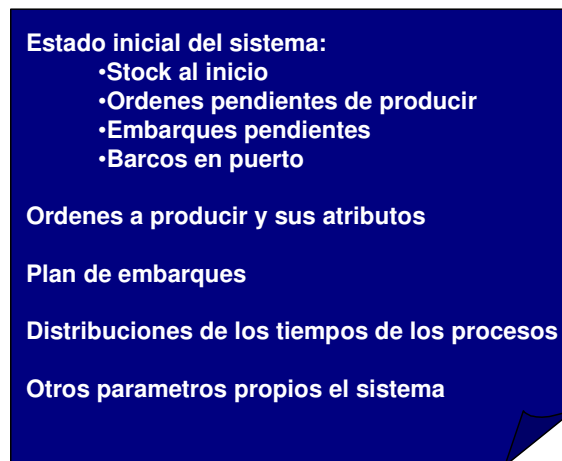


Figura 21

Con esta información cargada se puede correr la simulación cuyo funcionamiento se esquematiza a continuación.

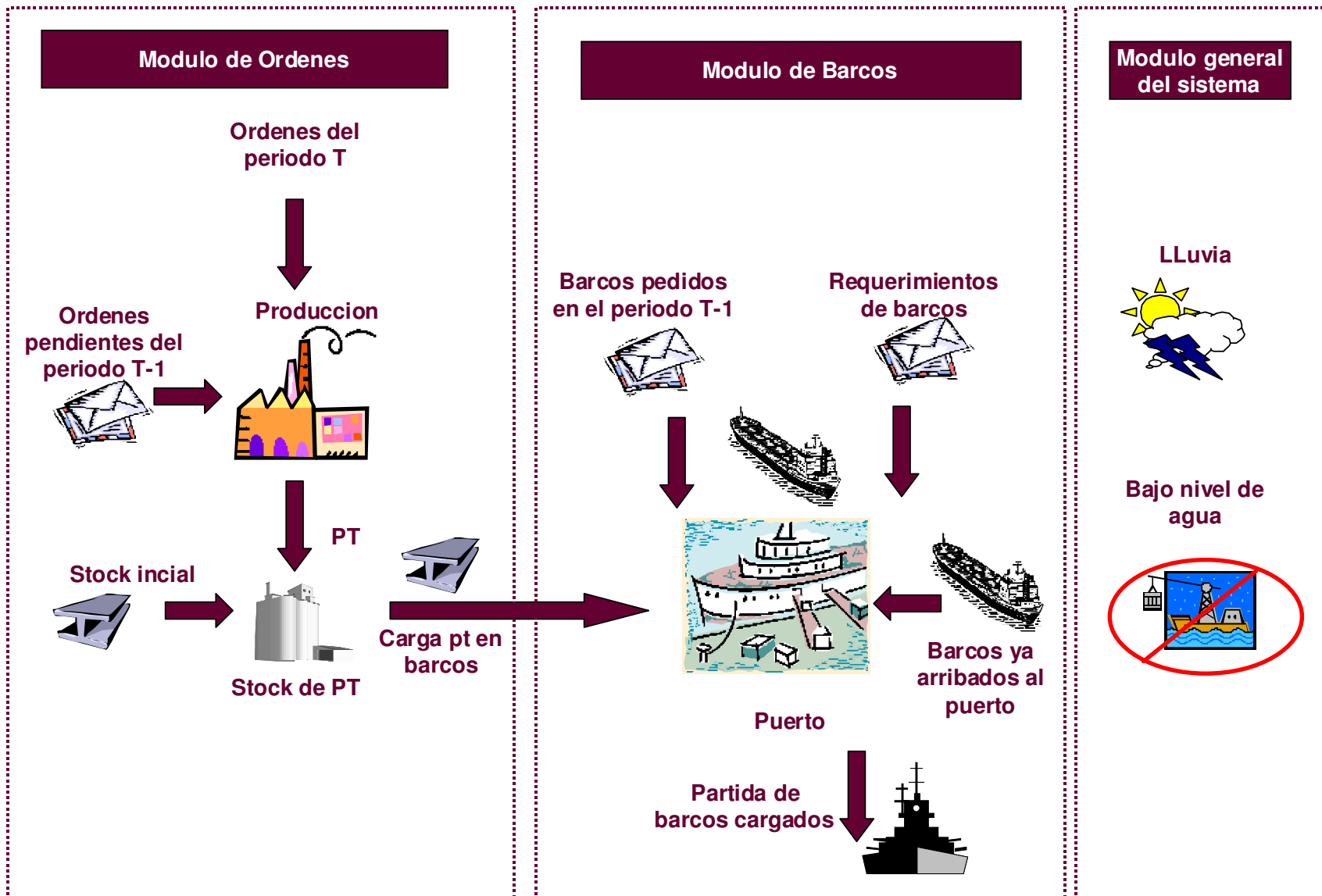


Figura 22

El funcionamiento del template propone tres módulos, el de órdenes, el de barcos y el general del sistema.

El módulo de órdenes es en el que circulan las órdenes que luego de entrar a producción se transforman en productos terminados esperando en stock al momento de ser cargados en los barcos. El módulo de barcos es aquel en el cual el plan de embarques se transforma en los buques que arriban al puerto, son cargados y finalmente parten hacia su destino final. El módulo general del sistema es aquel en el cual se generan las condiciones que afectan al sistema como son las condiciones climáticas, condiciones de bajo nivel de agua que imposibilita la carga y demás características generales del sistema.

Los tres módulos están conectados y las decisiones que se toman en cualquiera de ellos dependen tanto del estado de ese mismo módulo como de los otros. Por ejemplo, la decisión del momento en que parte un barco depende de si hay o no barcos esperando para ser cargados, de las condiciones climáticas y de si la orden que debe ser cargada ya esta producida o no. Otro ejemplo es la decisión de la reprogramación del embarque de una orden que depende del plan de embarques.

Como datos de salida se obtienen todos aquellos datos relacionados con las órdenes, los barcos o el sistema que se requieran. Los datos a recolectar se establecen en la parametrización del sistema. Algunos de los datos propuestos por el template a obtener como salida de las corridas son los siguientes:

Outputs del template

Estado final del sistema:

- Stock al final
- Ordenes pendientes de producir
- Embarques pendientes
- Barcos en puerto

Datos de ordenes:

- Dia comienzo y fin de prd, Dias de stock ,Dias de carga
- Replanificacion de embarque
- Dia salida del puerto
- Atrasos en la carga y sus causas
- Etc..

Datos de barcos

- Dia arribo al puerto, Dias en puerto
- Dias atraso en la llegada y en la salida
- Carga planificada, Dia partida del puerto
- Carga final ,Carga no planificada extra
- Carga planificada y no cargada
- Etc...

Datos del sistema

- Registros de Lluvias
- Dias de bajo nivel de agua

7.4. Ventajas y principales características del template construido

Tal como se planteó en los objetivos del proyecto en la construcción del template se prioriza la flexibilidad y adaptabilidad del template a distintos sistemas y la posibilidad de introducir interacción entre los planos informativos, físico y económico.

7.4.1. Flexibilidad y adaptabilidad

Una de las principales características del template es la flexibilidad que presenta, pudiendo ser utilizado por distintos casos de gestión de exportaciones vía marítima de productos industriales.

No solo presenta flexibilidad de ser parametrizado para representar distintos casos sino que también es fácilmente expansible de manera de contemplar sistemas más complejos al que actualmente representa.

En el capítulo en que se detalla la parametrización del template se citan algunos de los sistemas que pueden ser simulados con el template y las posibilidad de expandir su alcance.

Desde la modalidad de carga de datos iniciales, pasando por todos los módulos del template hasta la recolección de datos de salida se tuvo a la flexibilidad como criterio primordial.

7.4.2. Integración de los planos informativos, físico y económico

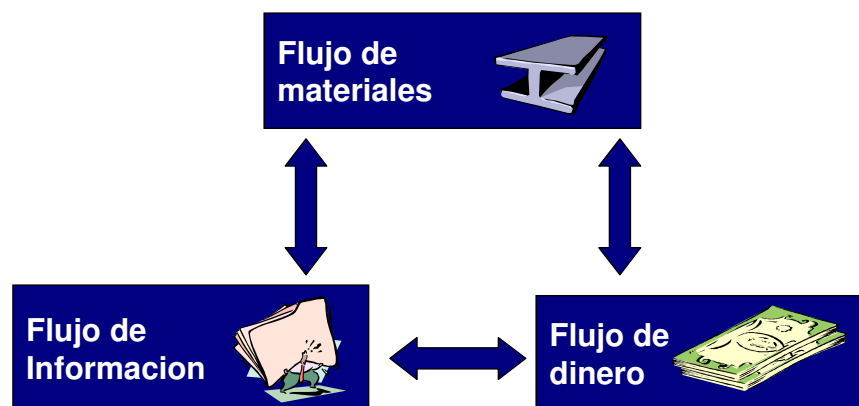


Figura 23

El template contempla al momento de tomarse una decisión el estado del sistema, es decir, se ajustan las decisiones que se toman con el estado del sistema. Se tiene en cuenta el concepto planteado en el modelo conceptual de plantear un template que integre los flujos de dinero, materiales e información.

Un ejemplo de esto se puede ver en la decisión que se adopta de acelerar o desacelerar el proceso de carga, decisión que prioriza no atrasarse en la planificación realizada y compara el plan con el estado de carga y en caso que el desfase ponga en riesgo el cumplimiento del plan afronta el costo de acelerar la carga a fin de cumplir con la planificación.

Las políticas y criterios específicos a adoptarse en las decisiones dependen de cada caso al que se aplique el template. Por ejemplo, el valor límite de atraso en la carga a partir del cual se decida acelerar la carga es un punto a establecerse particularmente para cada sistema. Dentro del instructivo desarrollado para la utilización del template se detallan los pasos a seguir para el establecimiento de diferentes criterios de acuerdo con cada caso.

7.4.3. Modelo de simulación interactivo con el usuario

El template construido tiene la ventaja de permitirle al usuario participar de algunas de las decisiones que se toman en el transcurso de la simulación, pudiendo ingresar datos adicionales a los ingresados en el momento previo a comenzar la simulación.

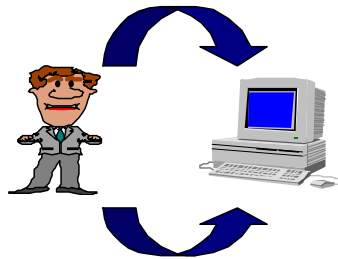


Figura 24

Una vez que el modelo comienza a correr con los datos cargados inicialmente, puede ocurrir que un barco abandone el puerto sin la totalidad de las órdenes que debía cargar. Cuando esto sucede se debe reprogramar el embarque de aquellas órdenes que tenían asignado el barco que partió. En esta instancia la simulación es interrumpida y el usuario ingresa el embarque en el cual va a ser transportada esa orden, luego la simulación continúa normalmente.

8. Diseño Experimental

En el diseño experimental se deben establecer todos los parámetros que permiten realizar las corridas, y obtener resultados confiables.

En primer lugar se debe determinar la duración de cada una de las corridas y luego a partir de la precisión y el nivel de confianza deseado se determina la cantidad de corridas del modelo.

8.1. Duración de las corridas

¿ A partir de cuantos eventos (o durante cuanto tiempo) es necesario simular para asegurar que los estados transitorios fueron superados y que el sistema funciona de manera estable?

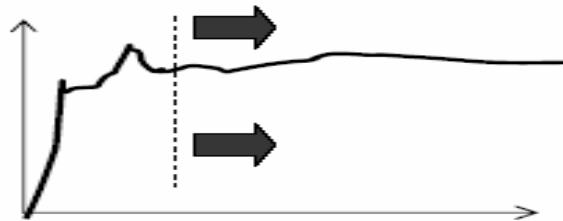


Figura 25

La determinación del tiempo de duración de las corridas, depende tanto del objetivo planteado en el modelo conceptual.

En función del tipo de objetivo que se trate se puede definir el orden de magnitud de la duración de la corrida. La duración exacta de la corrida va a depender de los datos de entrada.

Los objetivos planteados para esta corrida apuntan a medir la gestión operativa del proceso, por lo tanto se definió que se van a considerar corridas de 90 días.

Se debe tener en cuenta en este punto, que para la duración definida del sistema deben considerarse aquellas órdenes o barcos que ya estaban en el sistema al momento de comenzar la corrida, es decir en el día 1 de la simulación, como así también se deben contemplar las ordenes y los barcos que continúan dentro de los límites del sistema al momento de finalizar la corrida.

8.2. Cantidad de corridas

Cuantas observaciones independientes son necesarias para que los resultados de la simulación sean válidos para poder realizar estimaciones verdaderas en términos estadísticos

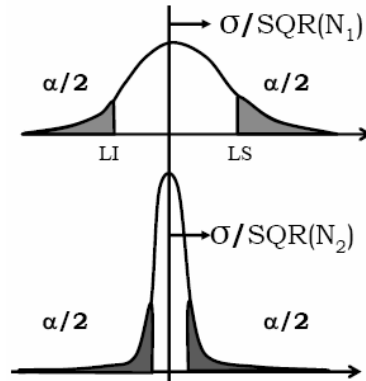


Figura 26

Para determinar la cantidad de corridas necesarias para obtener resultados con una determinada confiabilidad se deben realizar una X cantidad de corridas iniciales y calcular los valores de los indicadores a medir para cada una de estas corridas.

Corrida N 1: Indicador I1

Corrida N 2: Indicador I2

Corrida N n: Indicador In

Se obtiene también para cada uno de los indicadores, el valor promedio de todas las corridas. Con estos valores se calcula el estadístico de la muestra para cada indicador de acuerdo a la siguiente fórmula:

Estadísticos de la muestra:

Cantidad de corridas: N

Promedio muestral: $\bar{I} = \frac{\sum_i I_i}{N}$

Desvío Estándar muestral : $s = \frac{\sum_i (I_i - \bar{I})^2}{N}$

Con los valores calculados se debe determinar la cantidad de corridas para cada indicador. Se decidió utilizar la cantidad de corridas que sea mayor ya que para ese indicador la necesidad de corridas para obtener datos confiables evidentemente es más grande.

Utilizando esos datos iteramos utilizando la tabla de la distribución de probabilidades mencionada y la fórmula que aparece a continuación:

$$n = \sqrt{\frac{s^* t}{h}}$$

donde h es la precisión requerida (se calcula como el 2% de la media muestral indicada), s es el desvío muestral y t se obtiene de la tabla de la t de Student considerando el nivel de confianza requerido (99%).

Se obtuvo que la cantidad de corridas necesarias es de 15 para obtener un resultado con un nivel de confianza del 99%

9. Resultados y Análisis de resultados de la simulación

Se hizo la simulación durante el período de duración de la simulación establecido, y la cantidad de corridas calculadas y a continuación se muestran los resultados para cada uno de los indicadores y la especificación del cálculo de cada uno.

El detalle de los datos de salida de la simulación junto con las planillas utilizadas para el cálculo de cada indicador se adjunta en el anexo III.

9.1. Resultados de los indicadores

A continuación se muestran los resultados de los dos indicadores a los cuales se les estableció un valor meta cuando se los definió.

Se obtuvieron dos resultados para cada indicador, los resultados de haber realizado las corridas con el sistema en el estado considerado como inicial, y los resultados obtenidos de las corridas del modelo habiendo aplicado las relaciones que propone el template.

Las diferencias en el template utilizado como herramienta para medir la gestión del sistema en su estado inicial y el template propuesto como herramienta para la mejora en la gestión se detallan en el Anexo II.

9.1.1. Resultados de medir el indicador 1

Este indicador se definió como el porcentaje de órdenes entregadas en tiempo y forma. Es decir, del 100% de órdenes que se producen, despachan y arriban a destino, el porcentaje de órdenes lleguen al cliente en tiempo y forma.

Dentro de todas las órdenes que circulan por el sistema, al momento que finaliza cada corrida algunas de ellas ya se entregaron en el cliente, otras están en viaje, y otras quedan en stock para ser cargadas en el período siguiente.

Tanto para el cálculo del numerador como el denominador del objetivo planteado se van a considerar únicamente aquellas órdenes que se entregaron efectivamente en el cliente al momento de finalizar la simulación, y no se van a tener en cuenta aquellas que aun estén en viaje.

Resultados del indicador 1 sin la aplicación del Template (sistema inicial)

N replica	Cantidad de órdenes entregadas	Cantidad de órdenes entregadas fuera tiempo
1	50	6
2	49	4
3	48	5
4	50	4
5	48	9
6	49	6
7	52	9
8	53	16
9	50	2
10	48	15
11	50	10
12	55	10
13	53	10
14	50	7
15	54	5
MEDIA	51	8

Tabla 1

De estos datos se obtuvo el valor para el primer indicador que es de $84,45\% \pm 1,7\%$

Para el sistema operando sin las mejoras a la gestión que propone el template no se estableció un valor meta. La medición de este indicador se realiza a fin de comparar los resultados obtenidos para el mismo indicador con las mejoras en el sistema que propone el template de manera de cuantificar de alguna manera parte del potencial de mejor que puede aportar esta herramienta.

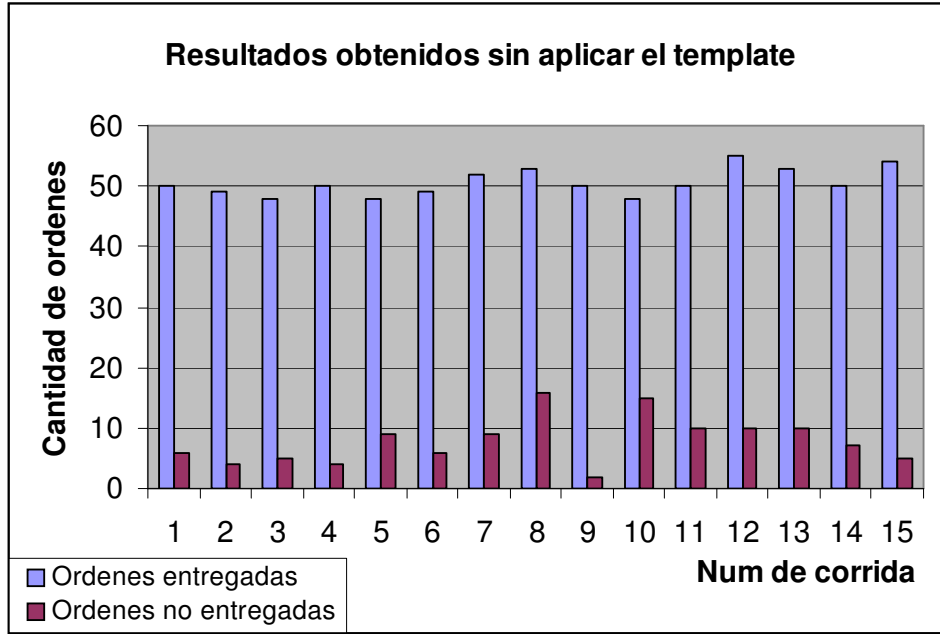


Figura 27

Resultados del indicador 1 con la aplicación del Template

N replica	Cantidad de ordenes entregadas	Cantidad de ordenes entregadas fuera tiempo
1	56	5
2	56	0
3	56	5
4	56	1
5	56	8
6	61	3
7	56	8
8	56	11
9	61	1
10	61	10
11	61	9
12	56	8
13	56	8
14	56	2
15	57	4
MEDIA	57	6

Tabla 2

De estos datos se obtuvo el valor para el primer indicador que es de $90,4 \% \pm 1,8\%$. El objetivo planteado era que el porcentaje de órdenes entregadas en tiempo y forma no sea menor al 80%, objetivo que se cumple ya que el menor valor del intervalo es 88,5%.

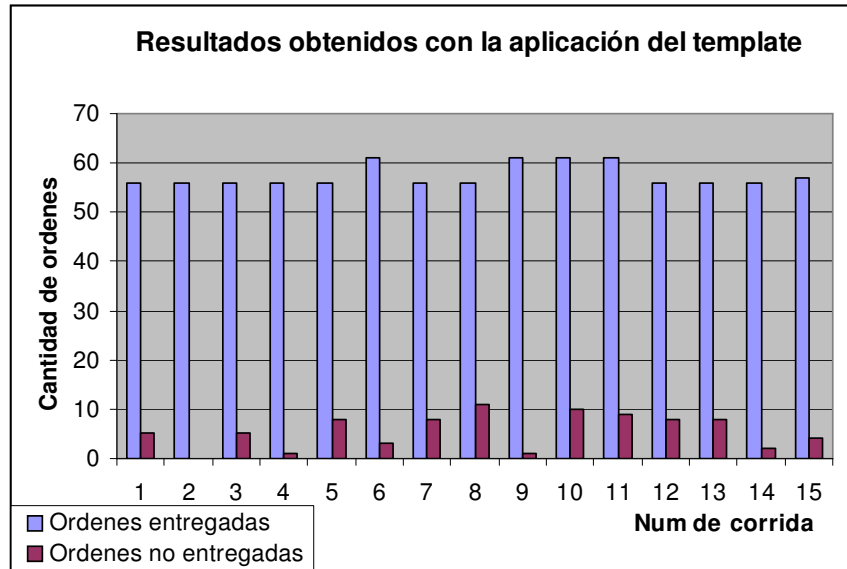


Figura 28

9.1.2. Resultados de medir el indicador 2

El segundo objetivo planteado fue que los costos de stock y de envío no estándar sean menores al 65% dentro de los costos totales de stock y envío.

En el punto 5.7 se detalla la ecuación económica del proceso y se define que costos son los definidos como estándar y cuales son los costos no estándar.

Este indicador se lo midió para el sistema con la aplicación del template y se obtuvieron los siguientes datos:

N replica	Costos ordenes entregadas		Costo total	Costo no std/ costo total
	Costo std	Costo no std		
1	8230000	11983990	20213990	0,59
2	8198075	12093123	20291198	0,60
3	8203625	12060877	20264502	0,60
4	8197475	12073762	20271237	0,60
5	8202925	12048508	20251433	0,59
6	9419100	12102250	21521350	0,56
7	8200850	12080128	20280978	0,60
8	8192275	12117030	20309305	0,60
9	9393275	12172409	21565684	0,56
10	9415025	12129770	21544795	0,56
11	9384450	12198843	21583293	0,57
12	8209925	12033467	20243392	0,59
13	8206825	12050909	20257734	0,59
14	8197850	12085516	20283366	0,60
15	8263450	12069987	20333437	0,59
MEDIA				0,59

Tabla 3

Por lo tanto se tiene que el 59% de los costos son costos definidos como no estándar, con un intervalo de confianza de $\pm 4 \%$.

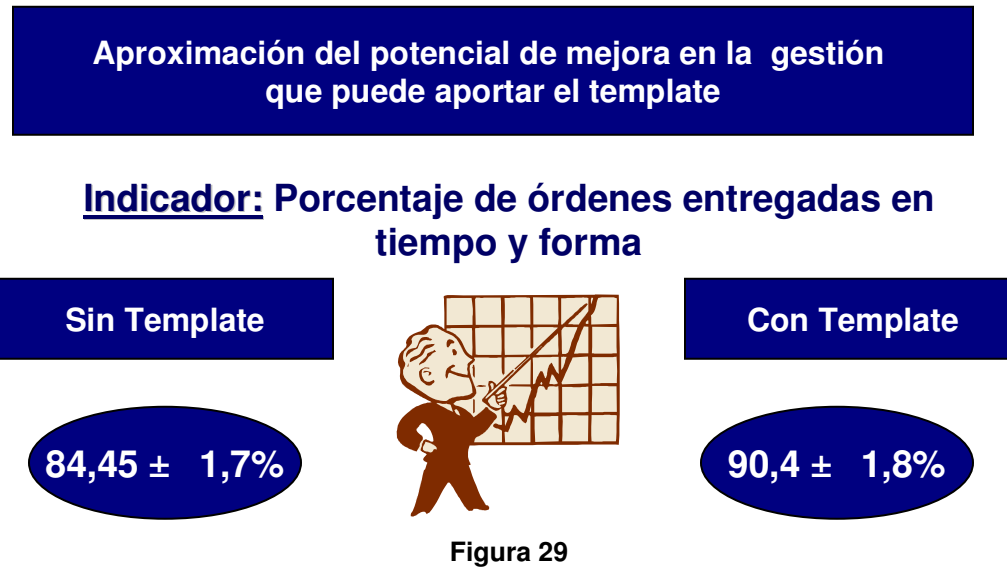
Es decir, el valor superior del indicador es de 63% y no supera el valor superior fijado como objetivo.

9.2. Conclusiones del análisis de resultados de la simulación

A partir de los resultados obtenidos de la simulación se tienen conclusiones cuantitativas, propias de los valores obtenidos y calculados, y otras conclusiones cualitativas que surgen como mejora del proceso analizado.

9.2.1. Medición del potencial de mejora en la gestión que aporta el template

Como ya se mostró en los resultados obtenidos de medir el indicador 1 sin y con la aplicación del template se obtuvieron los siguientes resultados sin template: 84,45 % \pm 1,7% órdenes entregadas en tiempo y forma y con template: 90,4 % \pm 1,8% órdenes entregadas en tiempo y forma.



Es decir que una aproximación del potencial de mejora que puede aportar este template en la gestión de exportaciones de productos industriales es aproximadamente del 6% ya que el indicador con el template fue superior en las corridas con template en este valor.

Este valor es solo una aproximación al beneficio que puede aportar el template a la gestión de exportaciones.

Se eligió este indicador ya que es lo suficientemente representativo del proceso simulado como para poder extraer conclusiones al respecto.

El beneficio que puede aportar la aplicación de este template a la gestión de cada caso depende, como ya se mencionó, a la situación inicial de la cual se parta. Si se partiera de una situación inicial con mejores mediciones que las planteadas aquí el beneficio va a ser menos significativo que el 6%. En cambio si se partiera de una situación inicial cuyo indicador registre valores inferiores a los planteados como iniciales en este caso el beneficio que aporta el template va a ser mayor aún al aproximado 6% calculado.

Finalmente, se puede agregar que el aporte que brinda la aplicación de esta herramienta no finaliza en su aplicación ya que una vez que esta en uso, el análisis de los resultados obtenidos presentan más oportunidades de detectar mejoras y alcanzar mejores resultados.

9.2.2. Conclusiones cuantitativas del funcionamiento del sistema con la aplicación del template

El primer indicador planteado, que apuntaba al nivel de cumplimiento con el cliente, arroja un valor dentro del límite planteado. El objetivo se cumple sobre el límite, es decir la

diferencia entre el menor valor del indicador y la meta planteada es pequeña, por lo tanto si bien se cumple con el objetivo se cumple sobre el límite.

El segundo objetivo apunta a medir la gestión del proceso desde el punto de vista de los costos. En cuanto al valor que toma este indicador sucede algo similar que con el primero, se cumple con la meta planteada muy cerca del límite establecido.

Analizando la totalidad de los datos extraídos del modelo, se pueden realizar otros análisis relacionados con los objetivos planteados. Por ejemplo, la relación entre el volumen de toneladas con embarque tercerizado es casi cuatro veces menor que el volumen de toneladas cuyo embarque se hace a través del puerto, y por otro lado el costo del total de gestión de las órdenes tercerizados es similar al costo total de gestión de las órdenes cuyo embarque es a través del puerto. Si bien el costo por tonelada depende del destino de la misma, se puede ver que con una diferencia de valores tan abultada el costo por tonelada enviada es considerablemente mayor cuando se terceriza el embarque. A su vez se tiene que el costo de envío en los embarques tercerizados corre por cuenta de los costos no estándar, por lo tanto se tendría en los embarques tercerizados uno de los mayores generadores de este tipo de costo.

Si se estuviera utilizando el modelo como una herramienta dentro de un plan de disminución de costos no estándar se podría continuar con este análisis y evaluar la posibilidad de cambios dentro del proceso de planificación para disminuir este costo, recurriendo luego al modelo para evaluar la medida tomada.

Este ejemplo de uno de los tipos de análisis de resultados que permite realizar el modelo. Para el conjunto de datos para el cual se realizaron las corridas no se cuenta con el nivel de información para continuar con el análisis de resultados numéricos más allá del cálculo de los indicadores.

9.2.3. Conclusiones cualitativas

9.2.3.1. *Considerar variables de tipo económicas para las decisiones de cuanto hacer que el barco espere en puerto*

Una de las posibilidades que surge del análisis del indicador que apunta a medir costos, es la posibilidad de la inclusión de variables económicas dentro de los circuitos de decisión del proceso.

Puede ser que el proceso que se esté aplicando al modelo contemple este tipo de decisiones y en la parametrización del modelo se hayan tenido en cuenta. Caso contrario, surge como una posible mejora del proceso, que se incluyan dentro de los procesos de decisión operativos como la partida del barco, el ritmo de carga, o de decisión estratégicos como la elaboración de plan de embarques la inclusión de los costos involucrados en el proceso.

Por ejemplo, dentro del circuito de decisión de espera del barco en puerto o no, realizar una comparación económica de tipo costos de que el barco espere 1 día más vs. costos de que el barco se vaya y que la decisión se tome día a día como un proceso tipo bucle hasta que se decida que el barco parta o se finalice con la carga.

9.2.3.2. Utilización del Pronóstico del tiempo para la toma de decisiones operativas.

El pronóstico del tiempo no se va a considerar con un horizonte limitado de tiempo.

Se plantea sin embargo, la posibilidad de incorporarlo como una posible fuente de información que permita tomar decisiones como acelerar o desacelerar la carga en función de las probabilidades de lluvia.

Para poder analizar su utilidad se debe evaluar la confiabilidad del mismo con el relevamiento correspondiente del caso evaluando la confiabilidad del tiempo del pronóstico vs realidad.

Si bien un análisis profundo del pronóstico excede el alcance del proyecto, al plantearse la posibilidad de que este sea una herramienta para la toma de decisiones es importante analizar su confiabilidad.

10. Parametrización del template

Una vez construido el template, es necesario realizar la parametrización del mismo para poder aplicarlo al caso que el usuario requiera.

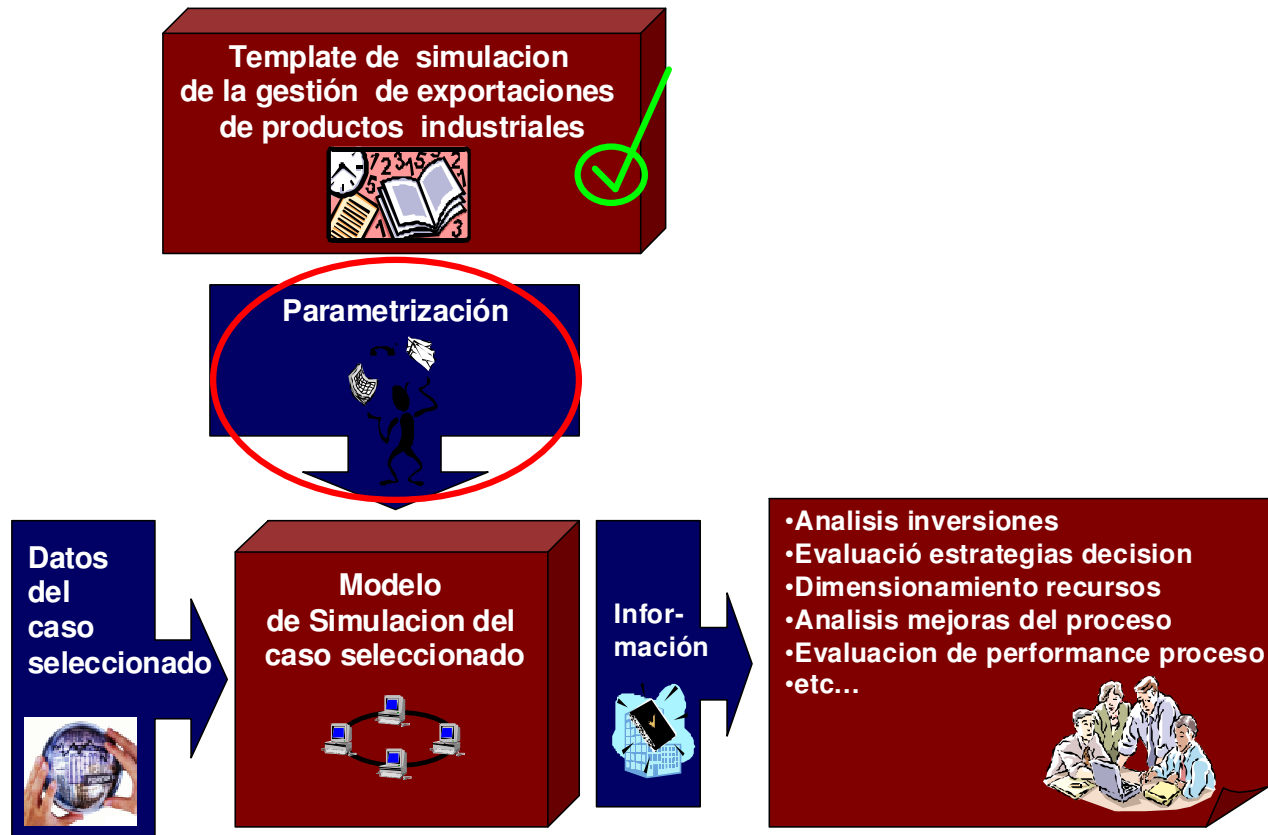


Figura 30

Para poder adaptar el template construido a diferentes procesos de despacho que presenten variantes respecto del proceso planteado en el modelo conceptual, se deben realizar ciertas parametrizaciones y adaptaciones del modelo al caso que se esté tratando.

Las variantes del proceso que pueden presentarse son muchas, por lo tanto no se van a enumerar cada una y explicar como se debe adaptar el modelo en cada caso. Se van a enumerar los lineamientos generales para la parametrización del template que se pueden trasladar luego a los demás casos.

10.1. Revisión del Modelo Conceptual

El primer paso para adaptar el modelo conceptual al caso que se esté analizando.

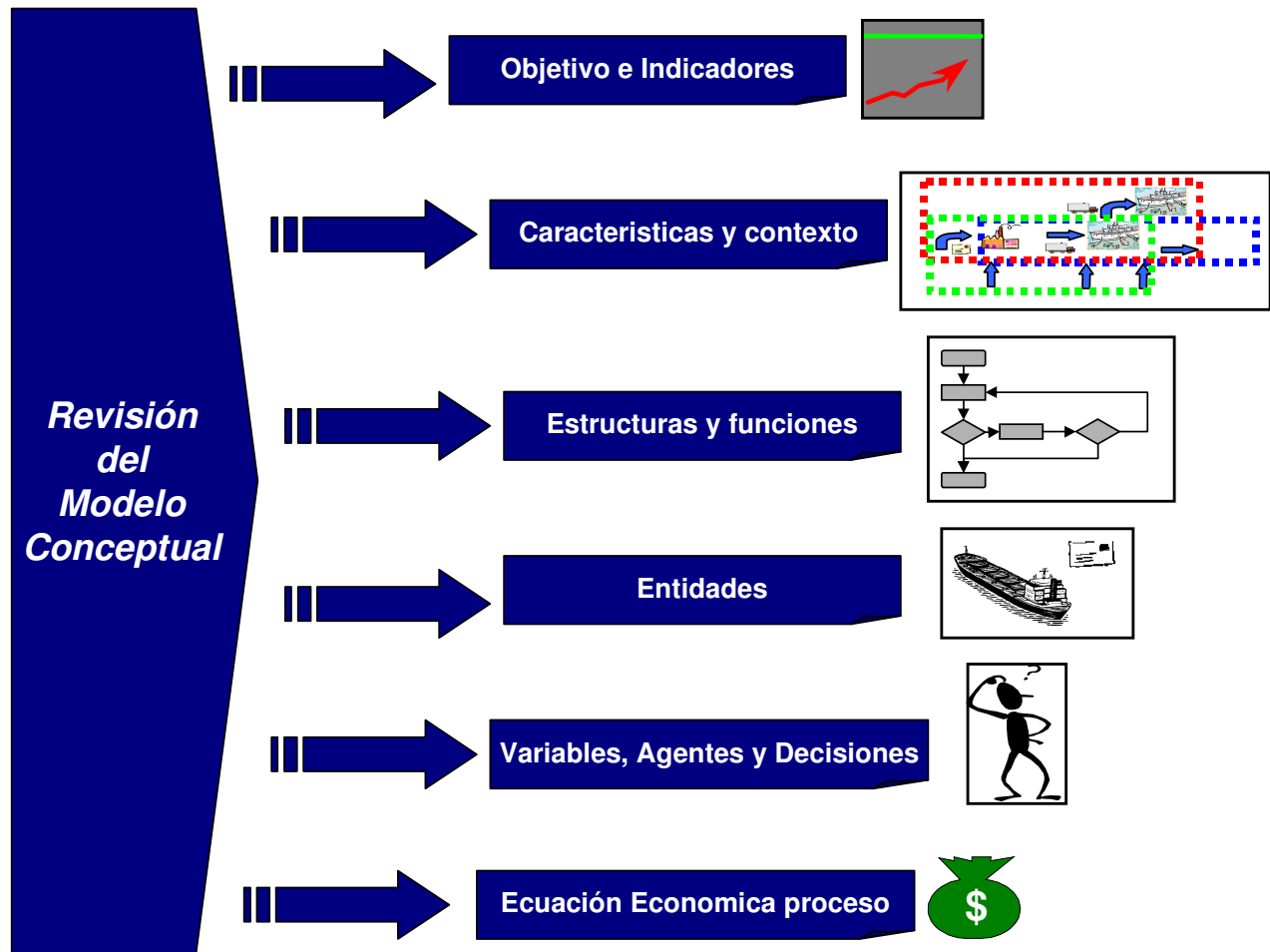


Figura 31

- **El objetivo y los indicadores:** Se deben plantear los objetivos del caso particular que se este tratando. Se debe tener en cuenta cuales son los indicadores que van a permitir medir el cumplimiento de estos objetivos.
- **Características y Contexto:** En este punto se deben tener en claro cuales son las fronteras del sistema que se esta modelizando.
En el template planteado, se propone un contexto en el cual se delimitan las fronteras del sistema. (Ver punto 5.3)
En esta delimitación se plantean sistemas con los cuales el modelo interactúa y que quedaron por fuera de las fronteras del template.
Para el caso que se este tratando se pueden incluir algunos de estos sistemas agrandado los limites del modelo o por el contrario achicar las fronteras del modelo dejando por fuera procesos que se consideraron internos.
- **Estructura y funciones:** En este punto es importante validar las relaciones que se establecieron en el proceso que se propone como template de manera de contemplar los circuitos reales del caso que se este tratando.

Una herramienta útil al momento de revisar las estructuras y funciones del sistema es la construcción de un flujograma en el cual se detallan los flujos de información y de materiales.

- **Entidades:** En este punto se deben tener en cuenta las entidades del sistema, que para el caso del modelo son las órdenes y los barcos.
Es importante validar los atributos que se le van a asignar a las entidades. Los atributos a tener en cuenta son importantes a la hora de asignar prioridades en los procesos, a la hora de realizar mediciones y diferenciar las órdenes entre si, los barcos entre si, etc.
Tal como se mencionó en el modelo conceptual hay muchos atributos de las entidades del sistema que pueden resultar importantes para el análisis y deben ser tenidos en cuenta.
- **Variables, Agentes y Decisiones:** En este punto es importante definir:
 - cuales son las decisiones a tomar,
 - que variables son las que representan esas decisiones
 - quien las toma
 - en función de que estado del sistema se toman las decisiones

En caso que las decisiones del modelo no coincidan con las planteadas, o coincidan pero los criterios de decisión sean otros a los propuestos por el modelo, se deben considerar en el modelo operacional y en el modelo de datos.

- **Ecuación Económica del proceso:** En el desarrollo de este punto dentro del modelo conceptual se planteó una ecuación económica general aplicable a diversos casos.
En caso que en el caso se presenten costos que el template no este contemplando se deben agregar, incluyendo en el modelo de datos los valores correspondientes. Asimismo se debe revisar en el modelo operacional que el nuevo valor que se este considerando sea medible y procurar su medición en los outputs del modelo.

10.2. Revisión del Modelo de datos

Dentro del template elaborado, el modelo de datos es el componente del mismo que más atención requiere a la hora de la parametrización.

Partiendo del modelo conceptual ya adaptado al caso en análisis, se deben establecer cuales son los datos que se deben buscar y generar. A partir de allí se debe proceder de acuerdo a la metodología de análisis de datos planteada en el punto 6.1.

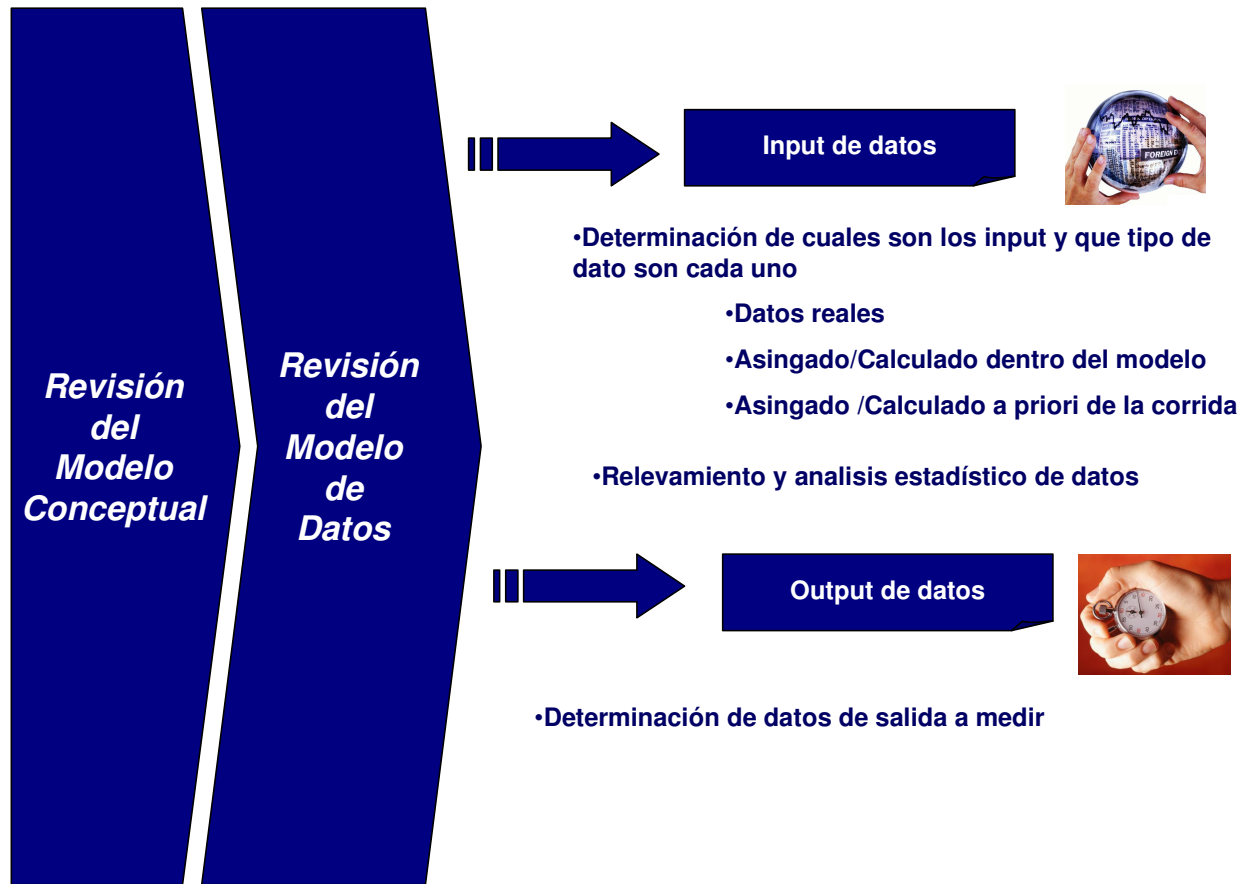


Figura 32

En primer lugar se deben evaluar cuales son los datos que se van a necesitar cargar. En función de esta necesidad de datos se realiza el relevamiento.

En cuanto a los inputs de datos en primer lugar se debe determinar la configuración de los datos que se van a cargar. En el modelo de datos realizado se presentan en un cuadro los datos del modelo y se determina que tipo de dato es cada uno, pudiendo ser:

- Datos reales: Son datos reales, que se utilizan directamente en el modelo. Por ejemplo, la fecha de entrega de una orden.
- Datos calculados asignados a priori de la corrida: Son datos que se estiman o calculan a priori por ejemplo los parámetros de una distribución de probabilidad que se use dentro del modelo, la fecha estimada de comienzo de carga que se le asigna a las ordenes.
- Datos asignados o calculados dentro del modelo: Son datos que se generan o asignan dentro del modelo, por ejemplo el tiempo que estuvo un producto en stock es un dato que se calcula dentro del modelo.

Para cada caso al que se aplique el template se puede variar el tipo de dato que se utiliza siendo que para un caso un dato que se carga inicialmente, otro caso lo genera dentro del modelo.

Una herramienta útil a la hora de la generación y análisis de datos es el Input analyser que brinda Arena que permite a partir de un conjunto de datos determinar su mejor ajuste a una determinada distribución de probabilidad. Esta herramienta sirve para algunos datos que se calculan o estiman a priori de la corrida.

El template plantea que se parta del plan de embarques confeccionado para un horizonte de tiempo X y se consideran todas las órdenes que entran dentro de este plan de embarques, teniendo todos los datos

El modelo permite mediante una adaptación muy sencilla contemplar los siguientes casos:

- Partir del plan de embarques y las órdenes con atributos ya conocidos tanto para las órdenes como para los barcos.
- Partir de las órdenes y realizar la asignación de barcos y de algunos atributos por teclado.
- Partir de proyecciones de órdenes y realizar la confirmación por teclado de la concreción o no de la orden.

Ahora bien, se hiciera una adaptación un poco más compleja el template permite mediante una adaptación muy sencilla contemplar los siguientes casos:

- Partir de las ordenes y realizar la asignación de embarques dentro del modelo
- Partir de proyecciones de órdenes y realizar la asignación de embarques dentro del modelo con la posterior confirmación por teclado de la concreción o no de la orden.

10.3. Revisión del Modelo Operacional

En este punto se van a considerar dos niveles de adaptación del template, adaptación simple y adaptación compleja.

Ya sea que se opte por realizar una adaptación sencilla del modelo, una compleja, o bien que se utilice el modelo tal cual esta construido, se debe realizar la carga inicial de todos los datos enumerados en el Anexo II. Si se realizan adaptaciones incluyendo más datos, también se debe procurar la carga inicial de los datos agregados.

La adaptación funcional del template es aquella que es realizable a través de la carga de datos en el modelo ya construido y modificaciones a realizar sobre la misma estructura ya construida.

La adaptación estructural es aquella que requiere modificar parte de la estructura del modelo construido en Arena.

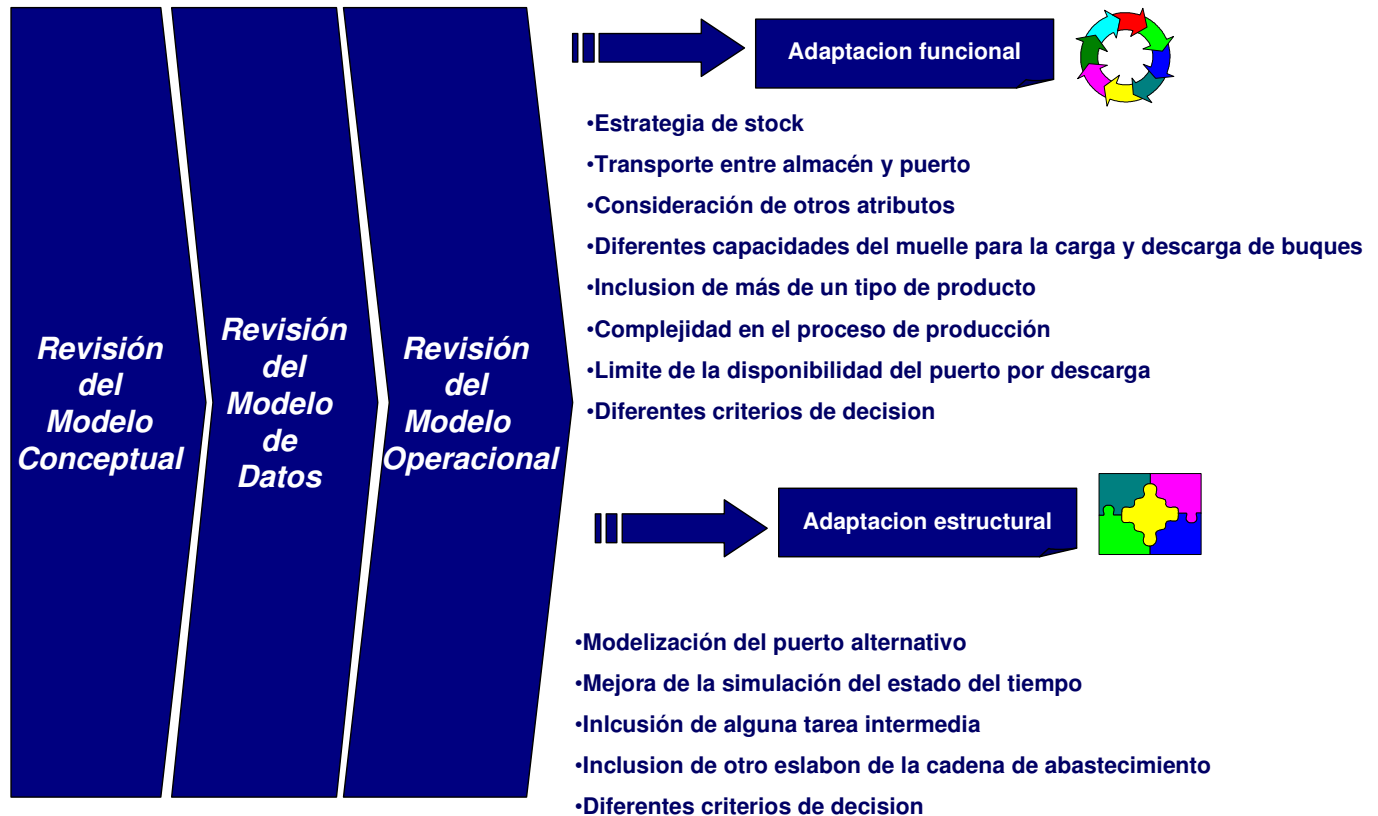


Figura 33

A continuación se van a enumerar los casos en que se podría realizar una adaptación funcional y en los que se debe recurrir a una adaptación estructural.

10.3.1. Adaptación funcional

En este punto se van a enumerar algunos casos que el template puede contemplar mediante una adaptación funcional del modelo construido.

- **Estrategia de stock:** Con el valor que toma la variable " **Estrategia stock 0**" se pueden modelizar dos políticas de stock distintas.
- **Transporte entre almacén y puerto:** En caso que se considere el transporte de productos entre el almacén y el puerto como una tarea independiente de la carga, se setea la variable "**Transporte entre almacén y puerto**" con el valor 1 y el modelo contempla este caso.

- **Consideración de otros atributos:** En caso que se quieran contemplar otros atributos que caractericen a las ordenes o a los barcos, se deben generar variables de $N \times 1$ en el caso de las ordenes y de $M \times 1$ en el caso de los barcos.

Mediante la asignación de atributos es posible identificar las entidades dentro del sistema. Es posible asignarles prioridades en las distintas colas en función del valor de los atributos, decidir el momento en que esperan o avanzan en el circuito en función del atributo y registrar todos aquellos datos relevantes de las entidades que se quieren medir.

La metodología para asignarle atributos iniciales a las ordenes o a los barcos es muy sencilla y esta explicada en el punto 13.2.1 para el caso de las ordenes y en el punto 0 para el caso de los barcos. La metodología para asignarle atributos a las órdenes y barcos a lo largo del circuito puede observarse en alguno de los módulos assign destinados a esta función como por ejemplo en el punto 13.2.4.

- **Diferentes capacidades del muelle para la carga y descarga de buques:** En caso que se tenga un muelle que tenga capacidad para más de un barco en la operación de carga o descarga se debe tener en cuenta los posibles valores de la variable "**Estado del puerto**" de manera de contemplar, que puede estar en 0 lo cual indica que no hay barco en el muelle, que valga 1, lo cual indica que hay un barco o que valga "**n**" lo cual indica que hay "**n**" barcos en el muelle. La condición de ocupación del muelle será entonces que la variable "**Estado del puerto**" sea menor a $(n-1)$. Se debe contemplar también que la variable "**Barco en puerto**" puede tomar más de un valor en simultaneo, por lo tanto una alternativa es generar n variables "**Barco en puerto**" para registrar todos los barcos que están en puerto y poder saber cuando una orden puede ser cargada.
- **Inclusión de más de un tipo de producto** En caso que se trabaje con más de un tipo de producto, se debe confeccionar una variable de $N \times 1$ por cada tipo de producto en la cual se carga para cada orden la cantidad de ese producto requerida. La metodología para asignarle las diferentes cantidades de productos a las órdenes esta explicada en el punto 13.2.1. Se debe contemplar que el atributo "**PesoOrden**" se debe ajustar como la suma de las cantidades requeridas de cada uno de estos productos.
- **Complejidad en el proceso de producción** En caso que se quisiera contemplar más de un tipo de producto, se puede establecer una variable que tenga el valor de la media del ritmo producción y otra con el desvío del tiempo de producción por cada tipo de producto. Al momento de ingresar a producción la variable ritmo de producción lee cual es el ritmo que le corresponde de acuerdo al tipo de producto que se va a producir. Una metodología similar se utiliza en la determinación del ritmo de carga de los camiones.

- **Limite de la disponibilidad del puerto por descarga** Utilizando la misma lógica planteada para el arribo de los barcos que se van a llevar los productos, se puede plantear el cronograma tentativo de barcos que arriban con productos para la descarga incluyendo la actividad de descarga y limitando la disponibilidad del espacio en muelle a través de la variable "**Estado del puerto**".
- **Diferentes criterios de decisión:** Tanto en los criterios adoptados para ordenar las colas, como las prioridades en los procesos de carga o producción se puede cambiar en función al funcionamiento del sistema que se este modelizando. Para asignar diferentes criterios se pueden definir los atributos o variables que se requieran de manera de decidir y asignar prioridades en función de ellos.
En la decisión del momento en que parte el barco se pueden cambiar los criterios establecidos como condición para que el barco se vaya.
En este punto la adaptación puede requerir además algún cambio en la estructura del modelo.
- **Definición del Estado del sistema al inicio y fin de la simulación:** Para este modelo se considero que el sistema ya estaba operando al momento de comenzar la simulación. Se tienen órdenes ya producidas al comienzo, ordenes producidas y no despachadas al final de las corridas y barcos en puerto al comienzo de la simulación. Aplicando una lógica similar a la que se aplico para la creación de los barcos en puerto al comienzo, descrita en el punto 13.3.1 o a la utilizada para crear las ordenes en stock ya producidas descrita en el punto 13.2.1 se pueden contemplar otras situaciones que reflejen el estado real del sistema al comienzo o fin de las corridas.

Con los ejemplos citados se representan casos generales de los cuales se pueda extraer la metodología para realizar todas las adaptaciones funcionales que se requieran.

10.3.2. Adaptación estructural

La adaptación estructural es aquella que va a requerir que se modifique parte de la estructura del template. Se van a detallar algunos casos generales de los cuales se pueda extraer la metodología para realizar las adaptaciones estructurales que se requieran.

- **Modelización del puerto alternativo:** Copiando el funcionamiento del puerto se podría modelizar el puerto alternativo que en algunos casos puede ser un segundo puerto cuya operación también esta gestionada por la empresa. Se debería copiar el proceso de carga considerando el transporte hasta este segundo puerto alternativo.
- **Mejora de la simulación del estado del tiempo:** Se puede incluir un sub-modelo en paralelo al modelo construido que contemple las variables como estacionalidad, estado del tiempo en los días anteriores, zona geográfica donde esta ubicado el puerto (o los puertos en caso que haya mas de uno) y se obtenga como resultado el estado del tiempo.

- **Inclusión de alguna tarea intermedia** En caso que se quiera incluir alguna tarea intermedia como por ejemplo controles administrativos, acomodamiento de los productos en almacén o alguna otra se deben incorporar esas tareas intermedias como procesos. La metodología de asignación de recursos para la tarea si fuera similar puede extraerse del modulo de producción o carga.
- **Complejidad en el proceso de producción** En caso que se quiera contemplar el proceso de producción en etapas, como se esta contemplando el proceso de carga, se puede aplicar la misma lógica, considerando que una misma entidad que entra a producción se va completando en tantas etapas como requiera el usuario.
- **Inclusión de otro eslabón de la cadena de abastecimiento** En caso que se quiera agregar un eslabón anterior a la producción, como puede ser la gestión de compra y recepción de materiales, volviendo más compleja la disponibilidad de materia prima para la producción se debe desarrollar el modelo y establecer el vinculo con los procesos de los circuitos construidos.
- **Diferentes criterios de decisión:** En caso que las decisiones y/o criterios que se quieran aplicar requieran cambios en la estructura del modelo se deben agregar todos los módulos que la decisión requiera.
Por ejemplo en el caso que la decisión del momento en que el barco abandona el muelle se transforme en la decisión de que el barco se cambie a otro muelle donde se continúa la carga se va a necesitar modificar la estructura del modelo.
Se deben tener bien identificadas las decisiones del modelo conceptual y los criterios para cada decisión a tomar de manera de manejar los atributos y variables de acuerdo a estos criterios.
Del modelo actual, se puede tomar como base para el diseño de un criterio de decisión en el modelo la decisión del momento en el que el barco abandona el muelle. Ver 5.6.2.1 y 13.3.4.

10.4. Revisión del Diseño Experimental

En este caso, dependiendo de los indicadores definidos se propone que se revise el modelo experimental desarrollado, de manera de determinar para cada caso el numero de corridas.

Una vez que se corre el modelo la cantidad de veces que se requiera para obtener un resultado con el nivel de confianza fijada se obtienen los reportes que brinda el Arena como output y los archivos txt con los resultados de cada corrida que se estableció en el modelo que se querían levantar.

La metodología para establecer el número de corridas necesarias para obtener un determinado nivel de confianza en los resultados esta detallado en el desarrollo del diseño experimental realizado.

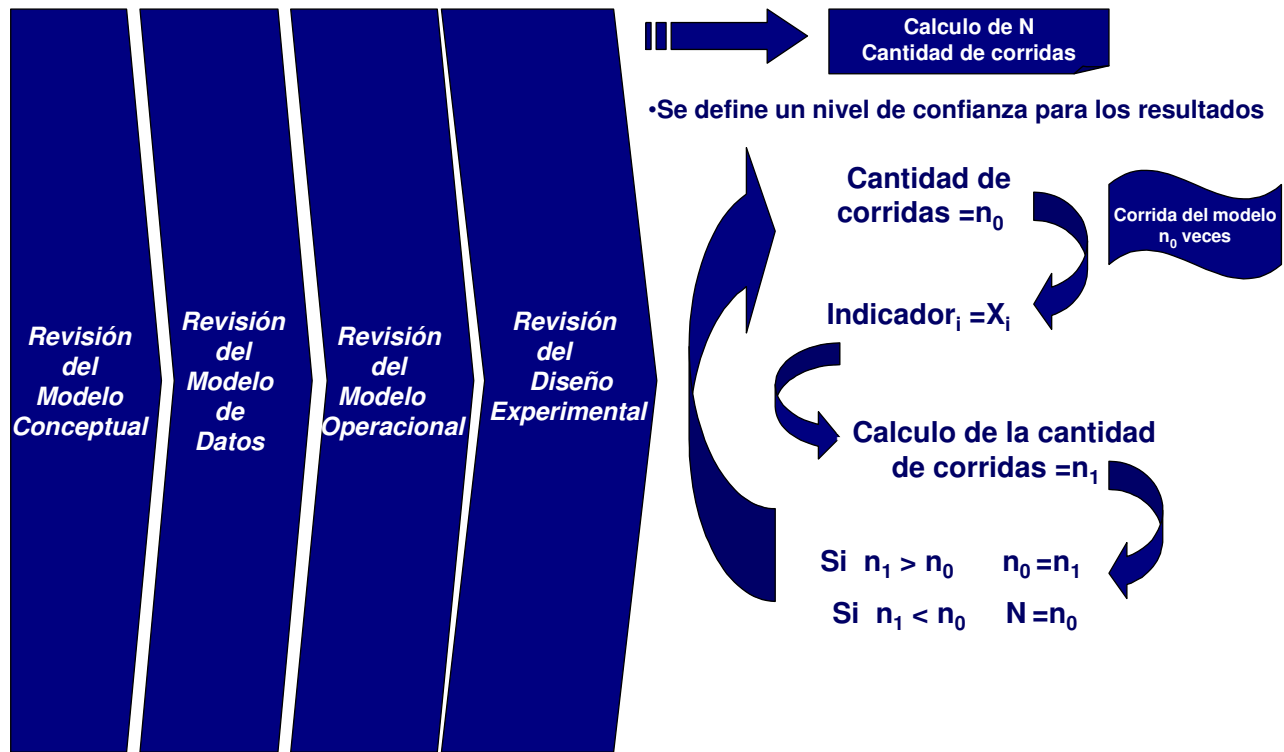


Figura 34

11. Conclusiones Del Proyecto Final

Como conclusión de este proyecto final queda el análisis de los objetivos planteados al comienzo del mismo

El primero objetivo planteado fue lograr una mejora en la gestión de las exportaciones de productos industriales. El medio para alcanzar este objetivo fue el desarrollo de una herramienta que plantea un modelo de gestión en el cual se integran los planos informativo, físico y económico y permite detectar mejoras en la gestión y en las decisiones de manera de obtener mejores resultados.

Esta herramienta se desarrollo y se cuantifico aproximadamente el potencial que puede alcanzar en la mejora de los resultados de la gestión de exportaciones.

El resultado obtenido comprobó que efectivamente se alcanzan mejores resultados al aplicar esta herramienta y se propone como punto a desarrollar que posteriormente al análisis de los resultados obtenidos luego de la aplicación del template se detecten nuevas oportunidades de mejorar y obtener mejores resultados aún.

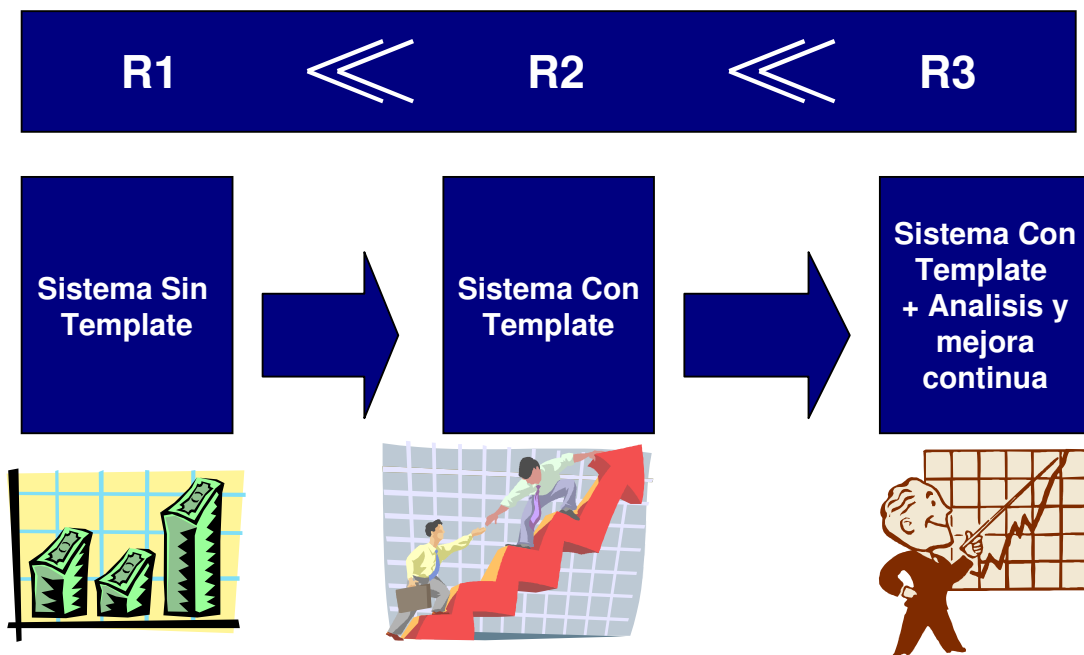


Figura 35

El segundo objetivo planteado fue el desarrollo de una herramienta de gestión que pudiera utilizarse para cualquier proceso de producción y despacho vía marítima o fluvial de productos industriales que brindara información útil y valiosa para diversos fines.

Específicamente, esta herramienta consiste en un modelo de simulación tipo template del proceso de producción y despacho vía buques de productos industriales, de manera que fuera aplicable a cualquier caso proceso de este tipo.

Teniendo ahora el template construido se puede afirmar que el alcance de la herramienta es muy amplio y se presentan muchas variantes del proceso que pueden ser representadas por el mismo template con la correcta adaptación y parametrización del mismo.

El nivel de detalle de información que puede brindar el modelo es muy amplio permitiendo que el sea el usuario quien determine que medir y el modelo sea su herramienta de para poder medir estos valores.

La flexibilidad con la que se construyo el modelo permite además de ser utilizado como "herramienta de medición" ser un modelo que permite la interacción con el usuario, pudiendo se utilizado para capacitación de usuarios que confeccionan planes de embarques o toman decisiones durante el proceso.

El segundo objetivo planteado se ha alcanzado, pudiendo presentar una herramienta muy valiosa como es un template de simulación que permite obtener una gran cantidad de información valiosa para la toma de decisiones y análisis de escenarios en la gestión de exportaciones de productos industriales.

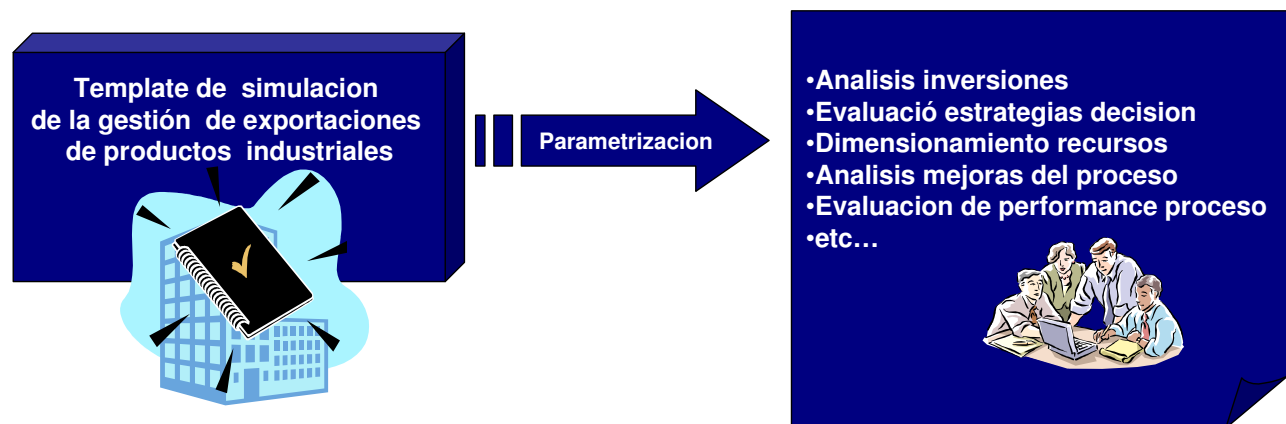


Figura 36

Como tercer objetivo se presentó un interrogante que se fue respondiendo en la elaboración del template. Este objetivo pretende definir el nivel de flexibilidad que se puede alcanzar en la construcción de un template de simulación de estas características.

Toda la construcción del modelo se fue realizando teniendo como premisa fundamental la flexibilidad del modelo. Una vez que se obtuvo el modelo ya construido, se pudieron establecer las parametrizaciones necesarias para representar en el modelo construido cada caso particular.

Por lo tanto se puede afirmar que se logro construir un template flexible y adaptable a diversos casos. Este objetivo no es medible o cuantificable, es decir que no se puede decir el nivel o grado de flexibilidad que se alcanzo con el modelo, pero si se puede afirmar que el caso que se tomo como prueba para evaluar la dificultad de parametrizar el template no presento dificultades. Por otro lado, se desarrollo la guía de parametrización del template que presenta diversas alternativas al modelo de gestión general planteado por el template, por lo tanto se puede afirmar que pudo construir un template lo suficientemente flexible como para ser adaptado a otros sistemas de gestión de exportaciones de productos industriales.

Relevamiento del caso de referencia " Puerto de Siderca"

11.1. Introducción a la empresa

Tenaris es un productor y proveedor líder global de tubos de acero sin costura y proveedor de servicios de manejo, almacenamiento y distribución de tubos para las industrias del petróleo y gas, energía y mecánica. Es también un proveedor líder regional de tubos de acero con costura para gasoductos en América del Sur. Con plantas productivas en Argentina, Brasil, Canadá, Italia, Japón, México, Rumania y Venezuela y una red de centros de servicio de atención al cliente en más de 20 países, Tenaris posee una capacidad de producción anual de 3,3 millones de toneladas de tubos sin costura y 930.000 toneladas de tubos con costura, ventas netas consolidadas por más de US\$ 6.500 millones y 17.500 empleados en todo el mundo.

TenarisSiderca es la marca utilizada en Argentina por Siderca S.A.I.C., una compañía de Tenaris. Es el proveedor líder de tubos de acero sin costura y servicios para la industria energética local y principal exportador de productos de valor agregado.

Su planta productiva, localizada en la ciudad de Campana, Provincia de Buenos Aires, posee una capacidad de producción anual de 820.000 toneladas de tubos de acero sin costura y una dotación de 4.300 empleados.

11.2. Hitos

1954: Dalmine SAFTA se funda en la ciudad de Campana, primera fábrica de tubos de acero sin costura de Sudamérica. Cuenta con un tren de laminación del tipo "a paso de peregrino".

Desde su nacimiento, la planta de Dalmine SAFTA cuenta con un tren de laminación del tipo "a paso de peregrino" de dos cuerpos. En 1959 agrega un tercer cuerpo o segmento y se inicia la incorporación de equipamientos de terminado y control más eficientes, para poder así aumentar su capacidad de producción.

1962: Nace la acería eléctrica Siderca, que convierte a Dalmine SAFTA, sumada a la producción de tubos trefilados y al laminador en frío, en una planta semi-integrada. Comienza la actividad exportadora. En 1962, en terrenos adyacentes a Dalmine SAFTA, Siderca da inicio a su producción como planta de fundido de acero por electricidad, lo que permite a la planta productora de tubos, emanciparse de proveedores externos de acero y convertirse así en una planta semi-integrada.

1968: En la acería se pone en marcha una máquina de colada continua, la segunda de Latinoamérica.

1976: Comienza a producir la planta de Reducción Directa de mineral de hierro y hace de Dalmine Siderca una planta totalmente integrada.

1977: Gracias a tecnología desarrollada en Dalmine Siderca, se instala el primer laminador continuo del mundo, alimentado con barras redondas.

1978: Se construye el puerto fluvial de Siderca para facilitar tanto la recepción de mineral de hierro y despachar los tubos



1985: “Siderca” es la nueva razón social de la empresa; comercializa en el exterior desde su oficina en Houston.

1988: Puesta en marcha del nuevo laminador continuo a mandril retenido, el cual presenta las técnicas más avanzadas de automatización de la operación y control de procesos.

1992: En las oficinas comerciales de Neuquén y Comodoro Rivadavia se crean depósitos regionales de tubos que optimizan el servicio a los clientes.

1995: Siderca toma el control de Tamsa de México.

1996: Sumando a Dalmine de Italia se conforma la alianza DST, y se firma el primer contrato Just in Time (JIT) con la compañía Amoco.

2000: NKK y Algoma (en Japón y Canadá) se unen a DST, además de Tavsá (Venezuela) y Confab (Brasil). Asociada a Weatherford International Inc. ofrece el servicio integral Just in Time Installed Column (JIC).

2001: Las ocho compañías crean la alianza comercial y productiva Tenaris.

2002: TenarisSiderca presenta su primera línea de accesorios para cementación de pozos petroleros. La soldadura doble junta permite generar tubos especiales, de 24 metros de largo. Lanzamiento de TenarisTracking, aplicación informática que amplía el servicio al cliente. Tenaris consolida su identidad legal y financiera cotizando en la bolsa de Nueva York.

2003: Se baja en un pozo petrolero "TenarisBlueTM", la primera rosca propietaria de Tenaris

11.3. Proceso Productivo

El proceso de producción de tubos de acero sin costura en TenarisSiderca nace de dos insumos primarios: chatarra seleccionada y mineral de hierro. El mineral de hierro pasa por un proceso de Reducción Directa para desoxidar el mineral produciendo "Hierro Esponja".

Este hierro esponja se carga en un horno de arco eléctrico (EAF) junto con la chatarra seleccionada (aproximadamente 65% hierro esponja y 35% chatarra). Durante el proceso de fusión en el horno, se alcanzan temperaturas de alrededor de los 1650°C y se consume una potencia eléctrica de aproximadamente 65 MVA. Una vez que se separa la escoria, se vierten unas 80 toneladas de acero fundido (líquido) a una cuchara donde se le agregan ferro-aleaciones para conseguir la composición química especificada por el cliente.

El acero líquido es pasado por una máquina de colada continua en donde se transforma en barras de acero con diámetros desde los 148 mm hasta los 310 mm. Estas barras son acondicionadas y preparadas para ser enviadas a los laminadores.

Una vez que las barras ingresan al laminador, son cortadas en trozos de menor longitud llamados "tochos" para luego ser introducidos en el horno giratorio donde serán calentados hasta alcanzar una temperatura de 1250°C.

Al salir del horno giratorio, pasa a ser perforado en el laminador perforador, quedando un semielaborado llamado "Forado". Luego se pasa por el laminador continuo para reducir espesor y estirarlo, obteniendo otro semielaborado llamado "Esbozado". El último paso de laminación es el laminador reductor estirador, en el cual se alcanzan las dimensiones finales de diámetro y espesor del tubo.

Una vez cumplidas las dimensiones especificadas, y de acuerdo a los requerimientos del cliente, el tubo pasa por un tratamiento térmico para conseguir las propiedades físicas y mecánicas requeridas por el cliente.

Por último, los tubos pasan a ser inspeccionados (controles no destructivos) y roscados para ser despachados al cliente final.

11.4. Relevamiento del proceso de despacho

La producción de tubos que se realiza en la planta Siderca tiene como destinos posibles el mercado local o la exportación. El transporte de los productos al mercado local se hace en camiones mientras que las exportaciones pueden realizarse mediante buques, camiones, aviones o trenes.

El volumen que se transporta en promedio por mes a clientes locales es de 400 camiones de 25 toneladas cada uno. El volumen de exportaciones asciende en promedio a 80.000 toneladas promedio por mes.

Una vez finalizada la producción se transportan, en camiones de capacidad de 25 toneladas cada uno todos los productos terminados hasta el almacén de la planta. Éste almacén tiene en promedio 100.000 toneladas.

Se tienen establecidas las fechas dentro de cada mes dentro de las cuales se despacha a cada una de las zonas de destino. Por ejemplo, entre el día 10 y el 20 de cada mes se trabaja con el embarque que va al Mediterráneo y al Golfo Árabe; entre el 20 y el 30 con el que va a Canadá, etc. Por lo tanto, la planificación comercial y de la producción se realiza teniendo en cuenta estos rangos de fechas.

Una vez que el área de producción establece el rango de fechas dentro del cual se va a tener lista toda la producción correspondiente a una determinada zona, el sector de Chartering selecciona alguna de las opciones que brindan las empresas navieras contratadas. La opción de embarque debe adecuarse a la cantidad de toneladas y destino. Una vez seleccionada la opción, se debe gestionar la aprobación operativa. Esta aprobación evalúa el volumen a cargar versus las dimensiones de las bodegas, teniendo en cuenta coeficientes de estibaje y normas de calidad.

Cuando ya se tiene aprobado el buque seleccionado, se notifica a producción la fecha estimada de arribo del mismo.

Cuando arriba el buque se selecciona el puerto en el cual se va a realizar la carga. Existen cuatro opciones de puerto que se pueden elegir:

Opción 1 Puerto de Siderca: Este puerto es privado de la empresa. Está ubicado a un km. del almacén de productos terminados. Tiene capacidad para un solo buque.

Este puerto si bien es la primera opción para realizar la carga, tiene como prioridad la operación de descarga de los barcos que llegan con materia prima. El puerto está equipado para realizar la descarga de los buques que llegan con mineral de hierro. La operación de descarga toma en general entre 4 y 5 días, descargando un total de 43.000 toneladas de mineral.

Si se decidiera elegir este puerto y durante el proceso de carga arribara un buque con mineral de hierro, se deberá derivar la carga a otro puerto dando siempre prioridad a la operación de descarga de materia prima.

También puede suceder que durante la carga en otro puerto, el de Siderca se libere, en cuyo caso se debe evaluar la conveniencia económica de interrumpir la carga y continuarla en éste.

Opción 2 Puerto Euroamerica: La concesión de este puerto está a cargo de terceros. El puerto tiene capacidad para dos buques; se encuentra a tres km. del almacén de productos terminados. En este caso se debe abonar un costo por utilización del puerto que no se tiene en el caso del puerto de Siderca.

Opción 3 Puerto de Campana: Al igual que la opción anterior la concesión de este puerto está a cargo de terceros. Tiene capacidad para un buque; se encuentra a cinco km. del almacén de productos terminados. También se debe abonar un costo por utilización, que no se tiene en el caso del puerto de Siderca.

Opción 4 Puerto Euroamerica II: La concesión de este puerto está a cargo de terceros, siendo en este caso la misma empresa que la opción 2. El puerto tiene capacidad para un solo buque y se encuentra a diez km. del almacén de productos terminados. También se debe abonar un costo por utilización que no se tiene en el caso del puerto de Siderca.

En cada puerto opera una compañía de estibaje, siendo la misma empresa en el puerto de Siderca y el de Campana y otra distinta la que opera en las opciones 2 y 4.

Proceso de carga

En los contratos que se firman con las empresas navieras, se establece un determinado ritmo de carga. Este ritmo va a determinar, en función de la cantidad de toneladas que se transporten, los días que el barco va a estar en el puerto siendo cargado. Este ritmo ahora está fijado en 750 toneladas x bodega x día.

En caso que se exceda ese tiempo se va a incurrir en una multa, que en la actualidad está pactada en U\$S 15.000 por día/hora que se exceda del tiempo fijado.

Transporte de los productos desde Almacén PT hasta el puerto

Este transporte involucra 2 etapas:

- Desde la planta hasta la portería del puerto
- Desde la portería del puerto hasta el barco

La primera consiste en la carga del camión y el transporte hasta la portería del muelle. En esta etapa se realizan controles para verificar que la carga del camión es correcta.

Se realizó una mejora, de renunciación de los puestos de control, evitando que aquellos camiones que no pasaban correctamente el control salgan del almacén, ahorrando tiempos del proceso.

La segunda etapa se desarrolla dentro del puerto y consiste en el transporte del camión desde la portería hasta el barco, esperando en caso que hubiera otro camión en proceso de carga.

La carga en sí misma consiste en que la grúa del barco tome una determinada cantidad de tubos, los levanta del camión y los coloca en la bodega. Una vez terminada la carga, el camión regresa para realizar nuevamente el ciclo.

En función del tiempo total que tardan los camiones en recorrer el circuito, más el tiempo de izaje de la grúa, se calcula la cantidad óptima de camiones que se van a contratar para realizar la carga.

Si bien se realiza el cálculo para determinar la cantidad de camiones ideal, con frecuencia sucede que los camiones abandonan el circuito por diversas causas, o que destinan su carga a una bodega distinta de la indicada. A los camiones se les paga por tonelada cargada.

La velocidad de la carga está condicionada por la máxima velocidad de izaje de la grúa. En este caso la grúa levanta 25 toneladas de cada camión cada vez que se iza.

Lluvia

En caso de lluvia, está determinado el procedimiento a través de contratos convenidos con cada una de las partes intervinientes en el proceso.

El proceso de carga se interrumpe por lluvia, sin importar la intensidad de ésta; los barcos no operan con lluvia.

En caso que el proceso de carga estuviera desarrollándose sin demoras, los días de atraso ocasionados por la lluvia quedan a cargo de la naviera. En caso contrario, debe pagar la empresa que está cargando sus productos.

Con la empresa transportista se tienen diferentes arreglos en caso que se haga esperar a los camiones cargados o se los deje ir, previa descarga de los productos en el almacén. Se evalúan los costos de realizar la descarga y luego volver a cargar el camión versus afrontar los gastos de espera hasta que deje de llover.

Para la vuelta a operación de la actividad de carga se debe tener en cuenta que las operaciones portuarias operan con turnos de 6 horas.

De manera que se tiene que evaluar la vuelta a la carga en el comienzo de alguno de estos módulos de 6 horas, existiendo cierta flexibilidad para operar medio turno.

Se debe considerar también la circunstancia en que se prevea que para el comienzo de un turno siguiente va a dejar de llover, y se decida nominar la gente que operará en la carga para ese turno. En caso que la lluvia continúe, se deben afrontar los gastos de haber nominado a la gente y en general están a cargo de quien haya decidido la nominación.

En este caso se deberá pagar por la cantidad de toneladas que se hubieran cargado con la gente nominada.

Otras consideraciones y datos

Dentro de los numerosos puntos a tener en cuenta en el desarrollo del proceso y las distintas situaciones que pueden presentarse, se relevaron los siguientes:

- El puerto de Siderca debe cumplir con un determinado porcentaje de utilización
- Durante la carga en alguno de los puertos mencionados, puede suceder que deba interrumpirse la carga por problemas de calado, debiendo continuar la carga en alguno de los otros puertos que si la soporten
- En el momento de decisión del puerto en se que va a realizar la carga, entran en juego cuestiones comerciales con las empresas que realizan la estiba o la explotación de los puertos
- En caso que se contrate un barco por una determinada cantidad de toneladas y se cargue una cantidad menor de productos, se debe pagar una multa por "falso flete"
- La cantidad promedio de barcos por mes es de 10 cargando 600 contenedores de 25 toneladas cada uno (se exportan 80.000 toneladas por mes). Los barcos transportan entre 3.000 y 15.000 toneladas
- Al realizarse la programación por rangos de fecha, puede suceder que si se plantea que un embarque va a llegar entre el día 1 y el día 10, y ese barco en general llega el día 9, en producción se planifique tener los productos para el día 9. Si el barco llega el día 2, no se tendrá la producción lista
- No se contempla la posibilidad de tomar la decisión de que el barco parta sin realizar la carga o con los productos cargados parcialmente. No es una alternativa hacer que el buque parta sin completar la carga, a menos que la naviera sea quien decida partir, situación muy poco frecuente.

Causas de variabilidad detectadas

- En el proceso de transporte de los productos entre el almacén de productos terminados y el muelle, algunos camiones dejan el circuito. Esto ocasiona desvíos respecto a los tiempos planificados ya que se planifican los tiempos con una determinada cantidad de camiones circulando
- Habiéndose destinado los productos de un camión a una determinada bodega, a veces resulta que el camión se dirige a otra bodega y no se cumple la planificación, provocando retrasos en la carga. Esto sucede a causa de que a los camiones se les paga por tonelada cargada y si la bodega que tienen asignada tiene más espera, cargan en otra para agilizar y sumar más toneladas cargadas

- Se planifica un embarque para X cantidad de toneladas y después se cierran órdenes por menor cantidad o menos órdenes y se debe pagar el falso flete.

11.5. Aplicación del modelo al caso TenarisSiderca

Este caso se va a tomar como ejemplo para mostrara la parametrización a grandes rasgos, es decir no se va a elaborar el modelo para el caso ya que no se tiene toda la información necesaria y el objetivo es detallar la parametrización del modelo conceptualmente.

En primer lugar se debe revisar el modelo conceptual del cual se extraen los siguientes puntos:

- **El objetivo y los indicadores:** Del relevamiento surgieron varios puntos que se podrían plantear como objetivos del modelo, en este caso particular se va a considerar que el objetivo del modelo es evaluar la conveniencia de la expansión del muelle de la empresa, ampliando la capacidad a dos buques.
- **Características y Contexto:** En este punto es importante establecer los límites del modelo. Para el objetivo planteado se deben contemplar más de un puerto alternativo, ya que tienen 3 posibles opciones además del puerto propio.
- **Estructura y funciones:** En este punto se debe definir el proceso que se va a modelizar.
Las principales diferencias con el proceso definido es que son muy pocos los casos que se considera que el barco puede abandonar el muelle, por lo tanto se debe considerar en las decisiones si el barco abandona el muelle o no que no lo abandona hasta que no esta con la totalidad de la carga que debe llevar.
Se debe agregar la posibilidad de cambiar de muelle un barco, desde el puerto a uno de los puertos alternativos.
Se debe considerar que la prioridad del muelle la tienen los barcos que arriban con materiales para la descarga.
Se debe reflejar el proceso de transporte entre almacena y el muelle, teniendo en cuenta que el viaje es distinto dependiendo de a que puerto se estén enviando los productos.
Se pueden agregar o sacar mas relaciones planteadas en el proceso además de las mencionadas. Teniendo en cuenta la información relevada no se pueden realizar mas definiciones en este punto, pero seria necesario una detallada definición del proceso.
- **Entidades:** Se deben considerar los distintos tipos de productos, y los distintos tipos de barcos.
No se realizo un relevamiento profundo del como para poder detallar si es necesaria la definición de más entidades o atributos relevantes. A los fines del objetivo planteado no se requiere ninguna definición extra.

- **Variables, Agentes y Decisiones:** En este punto es importante definir las decisiones del modelo, quien las toma y en que se basa para tomarlas.
Como primer decisión esta la planificación de embarques, donde se planea cada barco y una determinada cantidad de productos. Esta tarea esta a cargo de un sector de planeamiento.
Luego se tiene la decisión de la elección del puerto. Dependiendo de la ocupación del puerto para la descarga de materiales, o la simultaneidad de dos barcos que deben cargar productos en el muelle, se debe optar por alguno de los puertos alternativos, para realizar la carga o por el muelle propio.
La decisión del momento de partida del barco queda determinada por la finalización de la carga de los productos.
Se debe también tener en cuenta la decisión de la cantidad de camiones a incluir en el circuito de carga, para transportar los productos del almacén al puerto, lo cual va a determinar el ritmo de carga en cada caso.
- **Ecuación Económica del proceso** La ecuación económica debe ajustarse de manera de medir los costos que se quieren evaluar según el objetivo planteado. Se debe contemplar independientemente del costo de carga el costo del transporte entre el almacén y el muelle.

Del modelo de datos no se van a realizar comentarios de la parametrización ya que no se cuenta con los datos para hacer un análisis de los mismos.

En cuanto al modelo operacional se debe comenzar por copiar los procesos de carga para el puerto alternativo, el cual va a tener capacidad para 3 barcos, ya que son 3 puertos. No se recomienda modelizar cada uno de los puertos alternativos por separado ya que conceptualmente se tendrían dos posibles caminos, despachar por puerto propio o despachar por otros, lo cual esta alineado con el objetivo planteado.

Se debe parametrizar la capacidad del puerto alternativo, y determinar el tiempo de transporte entre el almacén y el puerto alternativo en función de alguna variable que represente de cual de los 3 puertos alternativos se trata.

Se debe incorporar los barcos que arriban con mercadería de la misma manera que se modelizaron en el modelo actual los barcos que arriban para ser cargados, ocupando el muelle una determinada cantidad de días que depende de la carga que trae cada uno. El proceso de decisión del momento en que un barco abandona el muelle, se podría eliminar, reemplazándolo por una lógica que determine cuando se decide que un barco se cambie de muelle y continúe la carga en otro muelle. Se debe considerar esta lógica en el circuito de ordenas, de manera de enviar las ordenes que pueden ser cargadas al muelle que le corresponden.

Con esta breve explicación de la parametrización del caso Tenaris Siderca no se pretende alcanzar el nivel de detalle necesario para poder efectivamente parametrizar y

hacer funcionar el modelo de acuerdo a este caso, sino que se pretende mostrar en líneas generales la posibilidad de adaptación que tiene el modelo.

Este caso requiere en su parametrización del modelo operacional que se lo adapte a nivel tanto funcional como estructural.

A partir de la experiencia adquirida en la elaboración del proyecto se podría realizar una estimación del tiempo que tomaría la adaptación del modelo a este caso, teniendo en cuenta también que se cuenta con cierto conocimiento del caso como para estimar las tareas a realizar.

El tiempo que tomaría adaptar el modelo al caso de Tenaris Siderca con una persona dedicada este proyecto sería de aproximadamente 2 a 3 meses, cuando la elaboración de un modelo de similares características sin un template de por medio podría tomar entre 3 y 4 veces ese tiempo. Cabe destacar que el tiempo que tome depende del nivel de detalle al que se quiera llegar y el alcance que se le quiera dar al proyecto.

Bibliografía

- Apuntes CEOS - Cátedra Simulación
- Discrete - Event System Simulation (Jerry Banks - John S. Carson - Barry L. Nelson)
- Simulación (– Sheldon M. Ross)
- Simulation with Arena (Software Academic Version 5.00.02)
- Cursos On-line Supply Chain de Accenture (<http://portal.accenture.com>)
- Inferencia estadística y diseño de experimentos (Roberto Mariano Garcia)
- Investigación de Operaciones
- Investigación de operaciones (Winston)
- www.wintersimulation.com

12. Anexo I

A continuación se muestra en una tabla todos los datos que se contemplan en el modelo y que tipo de datos son pudiendo ser datos reales que se cargan directamente en el modelo, estimaciones o proyecciones o datos que se calculan dentro del modelo o a priori de la corrida.

Todos los datos generados, relevados y estimados para las corridas, fueron validados con el Ing Julio Garcia Velasco.

Datos		Tipo de dato		
		Real	Asignado /calculado en el modelo	Asignado calculado a priori de la corrida
ORDENES	Cantidad Producto _i	4		
	Fecha Entrega	4		
	Barco asignado			4
	Cliente	4		
	Destino	4		
	Fecha tardía comienzo prod.		4	4
	Fecha comienzo carga			4
	Días stock ordenes ya producidas	4		
	Cantidad de ordenes a procesar en la corrida			4
	Reasingación de numero de barco		4	
	Numero de orden		4	
	Fecha de entrada a stock		4	
	Tiempo de stock		4	

	Día entrega de la orden		4	
	Espera por lluvia		4	
	Espera por nivel de agua		4	
	Cantidad cargada a ritmo estándar		4	
	Cantidad cargada a ritmo acelerado		4	
	Día fin de carga		4	
	Atributo _i tomado como parámetro para medición de un indicador	4	4	4
	Atributo _i asignado para la actividad _i , la cola _i , o el proceso _i	4	4	4
B A R C O S	Día en que se pide cada barco	4		
	Cantidad de barcos a procesar en la corrida			4
	Destino	4		
	Toneladas contratadas en el barco _i	4		
	Día llegada al puerto barco _i	4		
	Cantidad de bodegas contratadas barco _i	4		
	Fecha tardía salida del puerto barco _i			4
	Numero de barco		4	
	Día de llegada al puerto		4	
	Días de atraso del barco en arribo al puerto		4	

S I S T E M A	Turno de ocupación del puerto		4	
	Porcentaje cargado		4	
	Fecha partida del barco		4	
	Cantidad que lleva el barco		4	
	Atributo _i tomado como parámetro para medición de un indicador	4	4	4
	Atributo _i tomado como parámetro para la actividad _i , la cola _i , o el proceso _i			
	Ritmo de producción tn por hora			4
	Desvío tiempo prd			4
	Ritmo estándar carga 1 bodega			4
	Ritmo acelerado carga 1 bodega			4
	Desvío tiempo de carga			4
	Transporte entre almacén y puerto			4
	Stock máximo	4		
	Cantidad en stock		4	
	Probabilidad de bajo nivel de agua			4
	Probabilidad de lluvia			4
	Tiempo de viaje _Media			4
	Tiempo de viaje _Desvío			4
	Tiempo viaje Alm _Puerto Ida _Media			4

Tiempo viaje Alm_Puerto Ida_Desvio			4
Tiempo viaje Alm_Puerto Vuelta_Media			4
Tiempo viaje Alm_Puerto Vuelta_Desvio			4
Atributo _i tomado como parámetro para medición de un indicador	4	4	4

12.1.1. Inputs de las ordenes

Datos generales de las ordenes: De cada una de las ordenes que se van a procesar en el periodo en que se va a correr el modelo se deben ingresar los siguientes datos:

- Numero de orden
- Cliente
- Destino
- Cantidad
- Fecha de entrega en el cliente

La generación de estos datos se realizó tomando como base los datos relevados, en cuanto a cantidades, destinos y fechas.

Para la generación de estos datos, a partir de los datos relevados se tuvieron en cuenta se generó una muestra de ordenes.

Para cada una de ellas se generó cual iba a ser su destino, la cantidad, el cliente y la fecha de entrega. El numero de orden es una numeración interna del modelo que permite identificar todas las órdenes de forma unívoca.

Partiendo de los datos que se relevaron se obtuvieron:

- Cantidades de ordenes procesadas promedio por mes
- Porcentaje de ordenes para cada destino por mes
- Porcentaje de ordenes para cada cliente por mes
- Cantidades promedio por orden
- Frecuencia promedio de entrega en cada combinación Cliente-Destino

Como ya se dijo antes, estos datos no se pueden revelar ya que son confidenciales, por lo tanto no se puede realizar una validación estadística de los datos generados.

Se recurrió entonces a otra de las fuentes para la obtención o validación de datos que es la consulta con un experto.

Producción de una orden: El tiempo que va a tomar la producción de una orden va a depender de:

- Tamaño de la orden
- Asignación de recursos en la planificación
- Variaciones propias del proceso productivo

La función del tiempo que va a tardar la producción se va a representar a través de una distribución de probabilidad. La función que más se ajusta a este tipo de procesos es la distribución normal.

Los parámetros de la función se van a extraer de los datos que se buscaron del caso que se tomó como referencia.

Como resultado del análisis realizado del proceso, se va a establecer un ritmo de producción que responde a una distribución normal con media 100tn/hora y un desvío del 5%

Transporte de los PT desde el almacén a la zona de carga: La actividad de transporte incluye la carga en el camión de los productos, el viaje entre el almacén y la zona de carga y finaliza con la descarga de los productos del camión.

Se van a considerar todas estas tareas concatenadas y se va a definir la duración de todas ellas juntas a través de la distribución de probabilidad que mejor se adapte a este tipo de proceso.

Tal como se estableció en el modelo conceptual, se considera que el proceso de transporte esta contenido dentro del proceso de carga estableciendo la duración de este último como un conjunto de las tareas de transporte y carga propiamente dichas.

Carga de los productos en el barco: Esta actividad consiste en la carga de los productos en las bodegas. La duración de esta tarea se va a ver determinada por:

- La asignación de recursos que se haya planteado al momento de comenzar la carga
- El tamaño de la orden
- La cantidad de bodegas que se estén cargando en paralelo.

Se va a definir en función de los datos relevados, la distribución de probabilidad que represente mejor la tarea de carga.

Siendo que se trata de una concatenación de tareas se define que la duración del proceso responde a una distribución normal.

Tal como se estableció en el modelo conceptual se van a tener dos posibles ritmos de carga, estándar y acelerada.

En caso que se tenga ritmo de carga estándar se va a tener un ritmo de carga que responde a una distribución de probabilidad normal, con media 750 tn/día y desvío del 10%.

En caso que se tenga ritmo de carga acelerado se va a tener un ritmo de carga que responde a una distribución de probabilidad normal, con media 900 tn/día y desvío XXX.

12.1.2. Inputs de los barcos

Arribo de los barcos al puerto que transportan los pedidos a los clientes: Este evento puede ocurrir en el momento en el que se lo había planeado, antes o después.

Se plantea que desde el día que se pide el barco, éste se supone que tarda 6 días en arribar al puerto, pero el momento del arribo va a responder a una distribución de probabilidad normal.

Se fija como media de la distribución el valor 6 y la variabilidad del 5%

Viaje del barco desde el puerto a destino: El tiempo de viaje va a estar determinado por el destino de la carga.

Cada barco puede alcanzar velocidades distintas que van a depender de la cantidad de materiales que lleva y el tipo de barco que se trate.

Se van a considerar factores climáticos que afecten el curso normal de navegación que se van a representar con la distribución de probabilidad que mejor ajuste los factores a considerar.

Se considera también que puede ocurrir que el barco hace paradas intermedias, llevándose a cabo tareas de carga y/o descarga en puertos intermedios entre que parte y arriba al destino final.

Todos estos factores se van a representar por el tiempo de viaje que va a depender de una distribución de tipo normal.

En función del destino, se asignan los valores de la distribución correspondientes.

Para el destino 1 los valores son MEDIA=9 DESVIO=10%

Para el destino 2 los valores son MEDIA=12 DESVIO=10%

Para el destino 3 los valores son MEDIA=15 DESVIO=10%

Para el destino 4 los valores son MEDIA=25 DESVIO=10%

Para el destino 5 los valores son MEDIA=30 DESVIO=10%

12.1.3. Inputs generales del sistema

Ocurrencia de ciertas condiciones climáticas: Estas condiciones son totalmente aleatorias, presentando cierta estacionalidad con el momento del año. Sin embargo en el modelo no se va a considerar la estacionalidad sino que se va a agrupar en una distribución de probabilidad de tipo binomial.

Se van a considerar dos estados climáticos: apto para la carga y no apto para la carga. Cada uno de estos estados va a tener una determinada probabilidad de ocurrir.

Se considera que el estado del tiempo es apto para la carga si no llueve.

Para calcular la probabilidad de que llueva se relevó durante un determinado periodo de tiempo las condiciones climáticas y se fijó un porcentaje que sale de este relevamiento.

Este porcentaje se va a establecer considerando la probabilidad de que llueva cada 12 horas. El relevamiento se realizó durante parte del mes de julio y parte del mes de agosto.

Se podría haber recurrido a una fuente alternativa de información como lo es un experto en este tema y consultar al servicio meteorológico nacional datos históricos considerando la estacionalidad de las lluvias en las distintas zonas y establecer la probabilidad teniendo en cuenta las variables de zona y estacionalidad.

Como se estableció en el modelo conceptual se va a tomar un único valor de probabilidad de lluvia que se va a mantener constante a lo largo de toda la simulación. Para este modelo se va a considerar la probabilidad que se extrajo del relevamiento mencionado. Se estableció que la probabilidad que llueva es de 26%.

Ocurrencia de un bajo nivel de agua, no apto para la carga : Los problemas de bajo nivel de agua desencadenan que la carga se deba interrumpir hasta que el nivel vuelva a ser el adecuado para retomar la carga. En caso que se continúe con la carga, puede ocurrir que el barco se encalle y no pueda luego salir del muelle.

Como se estableció en el modelo conceptual se va a tomar un único valor de probabilidad de que el nivel de agua no alcance el mínimo requerido para que se realice la carga, que se va a mantener constante a lo largo de toda la simulación.

Dicho valor se estableció en 0,9 % de probabilidad que el nivel sea bajo.

12.1.4. Datos de costos

Costos de Stock: Este costo es el costo se mide en pesos por tonelada y de acuerdo a los datos es de 1 U\$S / día tonelada.

Costos de envío: Este costo esta compuesto por la suma de:

- Costo de carga
\$/tonelada cargada a ritmo normal: 3 U\$S por tonelada
\$/tonelada cargada a ritmo acelerado: 4 U\$S por tonelada
- Costo por barco
\$/tonelada transportada: 5U\$S por tonelada por día de viaje (considerando como total de viaje el std de duración del viaje en función del destino)
- Costo por embarque tercerizado:
U\$S/tonelada enviada por embarque tercerizado
Este valor contempla el embarque que se cotiza en 15U\$S por tonelada por dia de viaje
9 U\$S por tonelada cargada
- Costo por entrega tardía:
U\$S 10 /tonelada*día entregada tard
- Costo por multas
10000 U\$Ss/dia por barco que excede el tiempo planificado en puerto
2 U\$S/tonelada contratada y no despachada
6 U\$S/tonelada despachada y no contratada

Template para la simulación de la gestión de exportaciones de productos industriales

Mes	N Orden	Cliente	Destino	Cantidad	Fecha entrega Cliente	Tiempo viaje estimado	Fecha tardía salida aproximada	Días de carga aproximados	Horas de prd estimados	Barco asignado	Fecha tardía salida del puerto o fecha entrega en p alternativo	Fecha Comienzo carga planificada
1	1	1	2	1100	40	12	28	1,47	11	5	21	21
1	2	4	3	900	36	15	21	1,20	9	4	16	16
1	3	1	3	2400	37	15	22	3,20	24	4	16	16
1	4	3	2	2300	25	12	13	3,07	23	0	7	13
1	5	1	2	1900	42	12	30	2,53	19	5	21	21
1	6	2	5	1100	37	30	7	1,47	En stock	1	1	1
1	7	2	5	1500	38	30	8	2,00	En stock	1	1	1
1	8	3	5	1000	37	30	7	1,33	En stock	1	1	1
1	9	4	5	1000	40	30	10	1,33	En stock	1	1	1
1	10	1	1	1000	25	9	16	1,33	10	3	12	12
1	11	3	1	2200	24	9	15	2,93	22	3	12	12
1	12	3	5	1900	39	30	9	2,53	En stock	1	1	1
1	13	4	4	1000	30	25	5	1,33	10	2	7	7
1	14	3	3	2000	38	15	23	2,67	20	4	16	16
1	15	4	5	1600	41	30	11	2,13	En stock	1	1	1
1	16	3	4	1900	34	25	9	2,53	19	2	7	7
1	17	3	4	2300	35	25	10	3,07	23	0	4	10
1	18	4	4	2100	36	25	11	2,80	21	0	6	11
1	19	1	5	2000	37	30	7	2,67	20	0	2	7
1	20	4	2	1200	39	12	27	1,60	12	5	21	21
1	21	3	2	1300	25	12	13	1,73	13	0	9	13
1	22	1	3	1900	36	15	21	2,53	19	4	16	16
1	23	1	2	2100	59	12	47	2,80	21	9	43	43
1	24	2	2	2200	60	12	48	2,93	22	9	43	43
1	25	1	1	900	26	9	17	1,20	9	3	12	12
1	26	1	2	1200	61	12	49	1,60	12	9	43	43
1	27	4	3	1900	23	15	8	2,53	19	0	3	8
1	28	1	2	900	34	12	22	1,20	9	0	18	22
1	29	4	4	1800	56	25	31	2,40	18	6	27	27
1	30	1	4	1800	58	25	33	2,40	18	6	27	27
1	31	3	2	2000	63	12	51	2,67	20	9	43	43
1	32	3	3	1100	21	15	6	1,47	11	0	2	6
1	33	2	4	1500	59	25	34	2,00	15	6	27	27
1	34	3	1	1900	26	9	17	2,53	19	3	12	12
1	35	1	2	1100	87	12	75	1,47	11	14	68	68
2	36	4	2	2700	89	12	77	3,60	27	14	68	68
2	37	3	4	2300	58	25	33	3,07	23	6	27	27
2	38	2	5	500	50	30	20	0,67	5	0	17	20
2	39	1	1	1400	27	9	18	1,87	14	3	12	12
2	40	2	2	400	90	12	78	0,53	4	14	68	68
1	41	2	4	600	35	25	10	0,80	6	2	7	7
2	42	3	3	2400	66	15	51	3,20	24	10	47	47
2	43	2	1	1700	53	9	44	2,27	17	8	37	37
2	44	2	1	800	52	9	43	1,07	8	8	37	37
2	45	2	4	2300	92	25	67	3,07	23	13	61	61
2	46	3	2	1700	90	12	78	2,27	17	14	68	68
2	47	4	2	1300	87	12	75	1,73	13	14	68	68
2	48	3	2	2000	86	12	74	2,67	20	14	68	68
2	49	4	5	3000	67	30	37	4,00	30	7	31	31
2	50	3	4	1000	94	25	69	1,33	10	13	61	61

Template para la simulación de la gestión de exportaciones de productos industriales

2	51	1	1	1600	54	9	45	2,13	16	8	37	37
2	52	1	4	2700	95	25	70	3,60	27	13	61	61
2	53	1	1	600	73	9	64	0,80	6	12	55	55
2	54	3	4	2800	93	25	68	3,73	28	13	61	61
2	55	1	4	500	71	25	46	0,67	5	0	43	46
2	56	3	2	700	48	12	36	0,93	7	0	33	36
2	57	4	3	1000	67	15	52	1,33	10	10	47	47
2	58	1	2	300	42	12	30	0,40	3	0	27	30
2	59	4	4	2500	77	25	52	3,33	25	0	46	52
2	60	2	3	700	68	15	53	0,93	7	10	47	47
2	61	2	1	1400	90	9	81	1,87	14	12	55	55
2	62	1	1	3000	97	9	88	4,00	30	16	80	80
2	63	3	1	800	91	9	82	1,07	8	12	55	55
2	64	1	4	500	64	25	39	0,67	5	0	36	39
2	65	4	4	700	60	25	35	0,93	7	0	32	35
2	66	2	1	1300	48	9	39	1,73	13	12	55	55
2	67	4	1	1200	48	9	39	1,60	12	12	55	55
2	68	1	3	2900	67	15	52	3,87	29	10	47	47
2	69	4	3	800	69	15	54	1,07	8	10	47	47
2	70	1	1	2800	57	9	48	3,73	28	12	55	55
2	71	1	2	1500	105	12	93	2,00	15	17	85	85
2	72	3	2	1500	107	12	95	2,00	15	17	85	85
2	73	1	3	700	99	15	84	0,93	7	15	74	74
2	74	2	3	800	96	15	81	1,07	8	15	74	74
2	75	1	3	600	98	15	83	0,80	6	15	74	74
3	76	3	3	2200	97	15	82	2,93	22	15	74	74
3	77	1	2	2000	103	12	91	2,67	20	17	85	85
3	78	2	5	2500	68	30	38	3,33	25	7	31	31
3	79	3	1	1900	98	9	89	2,53	19	16	80	80
3	80	2	5	1300	69	30	39	1,73	13	7	31	31
3	81	2	2	1400	105	12	93	1,87	14	17	85	85
3	82	4	5	600	67	30	37	0,80	6	7	31	31
3	83	3	3	1600	60	15	45	2,13	16	0	40	45
3	84	1	5	1200	69	30	39	1,60	12	7	31	31
3	85	4	5	500	72	30	42	0,67	5	7	31	31
3	86	1	5	2300	86	30	56	3,07	23	11	51	51
3	87	1	3	1700	53	15	38	2,27	17	0	33	38
3	88	1	3	2700	54	15	39	3,60	27	0	33	39
3	89	4	1	3200	99	9	90	4,27	32	16	80	80
3	90	2	3	400	107	15	92	0,53	4	17	85	85
3	91	3	2	900	109	12	97	1,20	9	17	85	85
3	92	3	3	2800	120	15	105	3,73	28	0	99	105
3	93	3	3	2000	125	15	110	2,67	20	0	105	110
3	94	1	3	100	129	15	114	0,13	1	0	111	114
3	95	4	3	1300	133	15	118	1,73	13	0	114	118
3	96	1	3	2400	136	15	121	3,20	24	0	115	121
3	97	4	1	1000	95	9	86	1,33	10	16	80	80
3	98	1	3	500	128	15	113	0,67	5	0	110	113
3	99	2	1	1500	94	9	85	2,00	15	16	80	80
3	100	1	5	500	87	30	57	0,67	5	11	51	51
3	101	1	2	2900	42	12	30	3,87	29	0	24	30
3	102	3	3	2500	71	15	56	3,33	25	0	50	56
3	103	1	2	1400	76	12	64	1,87	14	0	60	64
3	104	4	5	2700	85	30	55	3,60	27	11	51	51
3	105	3	3	2500	71	15	56	3,33	25	0	50	56
3	106	2	5	1100	81	30	51	1,47	11	0	47	51
3	107	1	2	1400	48	12	36	1,87	14	0	32	36

Template para la simulación de la gestión de exportaciones de productos industriales

Nº Barco	Toneladas contratadas	Destino	Fecha arribo Destino	Fecha estimada arribo al puerto	Fecha tardía salida del puerto	Cantidad de bodegas contratadas	Día que se pide el barco	Barcos en puerto al com sim	Nº Barco	Día arriboBarcos en puerto al com sim
1	8100	5	36	1	6	2	Ya pedido	1	1	1
2	3500	4	36	7	11	1	1	0	2	0
3	7400	1	24	12	15	3	6	0	3	0
4	7200	3	35	16	20	2	10	0	4	0
5	4200	2	38	21	26	1	15	0	5	0
6	7400	4	55	27	30	3	21	0	6	0
7	9100	5	66	31	36	2	25	0	7	0
8	4100	1	51	37	42	1	31	0	8	0
9	7500	2	58	43	46	3	37	0	9	0
10	7800	3	65	47	50	3	41	0	10	0
11	5500	5	84	51	54	2	45	0	11	0
12	8100	1	69	55	60	2	49	0	12	0
13	8800	4	91	61	66	2	55	0	13	0
14	9200	2	85	68	73	2	62	0	14	0
15	4300	3	94	74	79	1	68	0	15	0
16	10600	1	93	80	84	3	74	0	16	0
17	7700	2	101	85	89	2	79	0	17	0

13. Anexo II

A continuación se detalla la construcción del template, especificando cuales son los inputs que se deben cargar, la operatoria del modelo y cuales son los datos que se obtienen luego de la corrida.

13.1. Inputs del modelo

Tal como se planteó en el modelo conceptual, este modelo es una herramienta que puede ser adaptada a distintos casos y puede servir para analizar y resolver los distintos problemas que pueda plantear cada caso. El modelo requiere contar con una gran flexibilidad en cuanto a los indicadores que se van a medir y en cuanto a los datos con los que se va a alimentar el modelo.

Por lo tanto el modelo que se construyó requiere una carga de datos iniciales que dependiendo del objetivo puntual que este planteado, se puede prescindir de la carga de algunos de los datos, debiendo agregar otros datos, adaptando el modelo de datos al caso particular que se este tratando.

A continuación se presentan todos los datos iniciales con los cuales se debe alimentar el modelo.

13.1.1. Input de datos de las ordenes

En función del horizonte de tiempo que se este considerando para la corrida del modelo se va a determinar o estimar la cantidad de ordenes que se van a procesar en el modelo.

A modo genérico se va a considerar que el numero de ordenes a procesar es N.

Se definieron diferentes variables en el modelo, conteniendo cada una información correspondiente a las ordenes. Estas variables pueden ser matriciales o no, por lo tanto se va a aclarar para cada una la cantidad de filas y columnas.

Se establece para la simulación un determinado periodo durante el cual se simula el comportamiento del sistema, sin embargo el sistema venia operando previo al comienzo de la simulación y continua operando luego de que se corta la simulación. Por lo tanto se van a tener ordenes ya producidas al comienzo de las corridas y ordenes que quedan en stock al momento de finalizar las corridas.

Por lo tanto los datos iniciales correspondientes a las N ordenes deben ser ingresados en las variables que se detallan a continuación:

Variable	Filas	Columnas	Descripción de los valores
Variable Orden			Esta es una variable auxiliar del sistema cuya función es asignarle a cada una de las ordenes que ingresan el numero de orden correspondiente.
Demanda Ordenes	N	1	En esta variable se ingresan la demanda de productos de cada una de las ordenes. En la fila i se ingresa el valor demandado por la orden numero i.
Barco x Orden	N	1	En esta variable se ingresan el numero de barco asignado de cada una de las ordenes. En caso que se tercerice el embarque se considera numero de barco 0. En la fila i se ingresa el numero de barco asignado a la orden numero i.
Cliente x Orden	N	1	En esta variable se ingresan el cliente correspondiente a cada una de las ordenes. En la fila i se ingresa el numero cliente correspondiente a la orden numero i.
Destino x Orden	N	1	En esta variable se ingresan el destino correspondiente a cada una de las ordenes. En la fila i se ingresa el destino correspondiente a la orden numero i.
Fecha tardía comienzo prod	N	1	En esta variable se ingresan la fecha tardía de producción asignada a cada una de las ordenes. En la fila i se ingresa la fecha tardía de producción asignada a la orden numero i. Este valor se considera en numero de día.
Fecha entrega orden	N	1	En esta variable se ingresan la fecha de entrega correspondiente a cada una de las ordenes. En la fila i se ingresa la fecha de entrega correspondiente a la orden numero i. Este valor se considera en numero de día. Esta variable corresponde al día de entrega en el puerto alternativo para las ordenes con embarque tercerizado y el día de entrega al cliente para las demás ordenes.
Dias stock ordenes ya producidas	N	1	En esta fecha se ingresa el tiempo de stock que llevan acumuladas aquellas ordenes que ya se encuentran producidas al momento de comenzar la corrida. En la fila i se ingresa el tiempo de stock

			acumulado correspondiente a la orden numero i. Para las ordenes aun no producidas el tiempo de stock va a ser cero.
Fecha comienzo de carga	N	1	En esta variable se ingresan la fecha de comienzo de carga asignada a cada una de las ordenes. En la fila i se ingresa la fecha de comienzo de carga asignada a la orden numero i. Este valor se considera en numero de día.
Cantidad de Ordenes			En esta variable se ingresa el numero de ordenes que se van a procesar en las corridas que se realicen del modelo. El valor a ingresar en esta variable es N.
N Embarque reprocesado			Esta variable no se carga inicialmente, sino que durante las corridas del sistema, cada vez que una orden no se puede transportar con el N de barco asignado inicialmente, el sistema solicita ingresar un valor para esta variable. El valor ingresado en esta variable va a ser el nuevo numero de embarque asignado.

13.1.2. Input de datos de los barcos

Como ya se planteó anteriormente, uno de los principales inputs del modelo es el plan de embarques confeccionado para las N ordenes que se van a procesar.

A modo genérico se va a considerar que el numero de contratados es M y que la duración de cada corrida es igual a D días.

Se debe considerar que la simulación tiene una determinada duración, establecida en D días. Al comienzo de la simulación el sistema ya estaba operando y al cabo del cumplimiento de estos D días, el sistema va a seguir operando, por lo tanto se debe contemplar el estado del sistema al momento inicial y al momento final de manera de tener reflejada en la simulación la corrida de la situación real.

Al momento de comenzar la simulación puede suceder que haya un barco en el puerto y al momento de finalizarla que quede un barco en viaje o en puerto. Cada usuario debe definir la duración de las corridas y contemplar el estado del sistema al momento del inicio y de la finalización de la simulación.

Se definieron diferentes variables en el modelo, conteniendo cada una información correspondiente a los barcos. Estas variables pueden ser matriciales o no, por lo tanto se va a aclarar para cada una la cantidad de filas y columnas.

Por lo tanto los datos iniciales correspondientes a los M barcos deben ser ingresados en las variables que se detallan a continuación:

<i>Variable</i>	<i>Filas</i>	<i>Columnas</i>	<i>Descripción de los valores</i>
Barco pedido por día	D	1	En esta variable se ingresa el numero de barco que se solicita cada día. En la fila i se ingresa el numero de barco pedido el día numero i.
Desvío arribo barcos			El valor que toma esta variable es el desvío de la distribución de probabilidad normal que representa el tiempo que tarda el barco en arribar al puerto.
Media arribo barcos al puerto			El valor que toma esta variable es la media de la distribución de probabilidad normal que representa el tiempo que tarda el barco en arribar al puerto desde que se lo pide hasta que arriba al puerto.
Barcos en puerto			El valor de esta variable representa la cantidad de barcos que ya están en el muelle al momento que comienza la simulación.
Día arribo barcos en puerto	M	1	En esta variable se ingresa el día en que cada barco arribo al puerto. En la fila i se ingresa el día que el barco numero i arribo al puerto. Los únicos valores que van a ser distintos de cero son los de aquellos barcos que se encuentran en el puerto al momento de comenzar la simulación.
Destino por barco	M	1	En esta variable se ingresa el destino de cada uno de los barcos. En la fila i se ingresa el destino para el barco numero i.
Toneladas contratadas x barco	M	1	En esta variable se ingresa la cantidad de toneladas contratadas para uno de los barcos. En la fila i se ingresa la cantidad de toneladas contratadas para el barco numero i.

Día de llegada para cada barco	M	1	En esta variable se ingresa el día planificado de arribo al puerto para uno de los barcos. En la fila i se ingresa el día planificado de arribo al puerto para el barco numero i.
Cantidad de bodegas contratadas x barco	M	1	En esta variable se ingresa la cantidad de bodegas contratadas para uno de los barcos. En la fila i se ingresa la cantidad de bodegas contratadas para el barco numero i.
Fecha_tardía_salida_x_barco	M	1	En esta variable se ingresa la fecha tardía de salida del puerto para uno de los barcos. En la fila i se ingresa la fecha tardía de salida del puerto para el barco numero i. Este valor se considera en numero de día.

13.1.3. Input de datos generales del sistema.

Se deben ingresar datos generales del sistema como input para el modelo.

Se definieron diferentes variables en el modelo, conteniendo cada una información correspondiente a los barcos. Estas variables pueden ser matriciales o no, por lo tanto se va a aclarar para cada una la cantidad de filas y columnas.

A modo genérico se va a considerar que el numero de destinos posibles es P.
A continuación se detallan los variables input del sistema

Variable	Filas	Columnas	Descripción de los valores
Día			Esta es una variable tipo contador. Se utiliza para definir en que día se encuentra la simulación. Se debe ingresar el valor inicial, es decir el numero de día en que se considera que comienza la simulación.
Turno			Esta es una variable tipo contador. Se utiliza para definir en que turno se encuentra la simulación. Se debe ingresar el valor inicial, es decir el numero de turno en que se considera que comienza la simulación. Debe estar alineado con el valor inicial de la variable día. Se consideran 4 turnos de 6 horas por día, y esta variable no se limpia al cabo de cada día.

Estrategia stock 0			<p>Cuando esta variable toma el valor 1, significa que se va a adoptar por la estrategia de tener el menor stock posible, de manera de retrasar la producción hasta la fecha tardía de producción, de manera que el tiempo en stock de los productos sea mínimo.</p> <p>Cuando esta variable toma el valor 0, significa que se va a adoptar por una estrategia mas conservadora. Esta estrategia supone que la producción es continua y se producen todas las ordenes independientemente de la fecha máxima de stock definida. Es decir, que si hay una orden y hay recursos de producción disponibles se va a producir la orden.</p>
Ritmo de producción tn por hora			<p>Este valor surge del modelo de datos.</p> <p>El valor que tome la variable determina el ritmo de producción de la planta.</p> <p>De la combinación lineal del valor de esta variable y la cantidad a producir, surge el valor de la media del tiempo de producción.</p> <p>Este valor debe ingresarse en horas</p>
Desvio tiempo prd			<p>Este valor surge del modelo de datos.</p> <p>El valor que tome la variable representa el desvío del tiempo de producción de la planta.</p> <p>Este valor debe ingresarse en horas</p>
Ritmo estándar carga 1 bodega			<p>Este valor surge del modelo de datos.</p> <p>El valor que tome la variable representa el ritmo de carga estándar por bodega.</p> <p>De la combinación lineal del valor de esta variable con la cantidad de bodegas contratadas por barco y la cantidad a cargar, surge el tiempo de carga, cuando se carga con ritmo estándar.</p> <p>Este valor debe ingresarse en horas</p>
Ritmo acelerado carga 1 bodega			<p>Este valor surge del modelo de datos.</p> <p>El valor que tome la variable representa el ritmo de carga acelerado por bodega.</p> <p>De la combinación lineal del valor de esta variable con la cantidad de bodegas contratadas por barco y la cantidad a cargar, surge el tiempo de carga, cuando se carga con ritmo acelerado.</p> <p>Este valor debe ingresarse en horas</p>

Desvío tiempo de carga			<p>Este valor surge del modelo de datos.</p> <p>El valor que tome la variable representa el desvío del tiempo de carga.</p> <p>Este valor debe ingresarse en horas</p>
Transporte entre almacén y puerto			<p>Cuando esta variable toma el valor 0, significa que no se van a considerar los tiempos de transporte de los productos entre el almacén y el puerto independientes entre si.</p> <p>Cuando esta variable toma el valor 1, significa que se van a considerar los tiempos de transporte de los productos entre el almacén y el puerto independientes entre si.</p>
Stock máximo			<p>El valor que toma esta variable representa la capacidad de almacenamiento del almacén de productos terminados.</p> <p>Se considera en toneladas.</p>
Cantidad en stock			<p>Esta variable se carga inicialmente con la cantidad de productos que hay en stock.</p> <p>Cuando se finaliza con la producción de una orden y se envía los productos a stock esta variable aumenta conforma a la cantidad de productos que entran al almacén.</p> <p>Cuando se carga una orden en un barco se envía al puerto alternativo la variable disminuye conforma a la cantidad de productos que salen del almacén.</p>
Probabilidad de bajo nivel de agua			<p>El valor de esta variable se extrae del modelo de datos y su valor representa la probabilidad de que el nivel de agua sea lo suficientemente bajo como para no permitir continuar con la carga.</p>
Probabilidad de lluvia			<p>El valor de esta variable se extrae del modelo de datos y su valor representa la probabilidad de lluvia.</p>
Tiempo de viaje _Media	P	1	<p>El valor que toma esta variable es la media de la distribución de probabilidad normal que representa el tiempo de viaje entre el puerto y el destino i.</p> <p>En la fila i se ingresa la media de la distribución que corresponde al tiempo de viaje entre el puerto y el destino i.</p>

Tiempo de viaje_Desvio	P	1	El valor que toma esta variable es el desvío de la distribución de probabilidad normal que representa el tiempo de viaje entre el puerto y el destino i. En la fila i se ingresa el desvío de la distribución que corresponde al tiempo de viaje entre el puerto y el destino i.
Tiempo viaje Alm_Puerto Ida_Media			El valor que toma esta variable es la media de la distribución de probabilidad normal que representa el tiempo de viaje entre el almacén y el puerto.
Tiempo viaje Alm_Puerto Ida_Desvio			El valor que toma esta variable es el desvío de la distribución de probabilidad normal que representa el tiempo de viaje entre el almacén y el puerto.
Tiempo viaje Alm_Puerto Vuelta_Media			El valor que toma esta variable es la media de la distribución de probabilidad normal que representa el tiempo de viaje entre el puerto y el almacén.
Tiempo viaje Alm_Puerto Vuelta_Desvio			El valor que toma esta variable es el desvío de la distribución de probabilidad normal que representa el tiempo de viaje entre el puerto y el almacén.

13.1.4. Variables y datos generales del sistema que no requieren carga inicial

Además de las variables que requieren carga inicial y se mencionaron en el punto anterior se tienen otras variables definidas para el modelo, que no requieren carga inicial y su valor se va actualizando con la misma simulación.

A continuación se definen y explican cuales son estas variables.

<i>Variable</i>	<i>Filas</i>	<i>Columnas</i>	<i>Descripción de los valores</i>
Cargadisminuir	M	1	Esta variable es una variable auxiliar que permite disminuir o aumentar la carga inicial de toneladas contratadas para cada barco. Cada vez que se saque una orden que pesa X del barco i, el valor Cargadisminuir(i,1) va a ser igual a (Cargadisminuir(i,1) +X) Cada vez que se agregue una orden que pesa Y

			del barco i , el valor Cargadisminuir($i,1$) va a ser igual a (Cargadisminuir($i,1$) - Y)
Lluvia			Esta variable puede tomar el valor 1 o 0. En función de la probabilidad de lluvia definida se le asigna a esta variable el valor 1 si llueve y 0 si no llueve.
Nivel agua bajo			Esta variable puede tomar el valor 1 o 0. En función de la probabilidad de bajo nivel de agua definida se le asigna a esta variable el valor 1 si el nivel de agua sea lo suficientemente bajo como para no permitir continuar con la carga y 0 si no lo es.
Barcosidos	M	1	Esta variable es una variable auxiliar que permite registrar que barcos ya abandonaron el puerto. Los barcos que no se fueron tienen el valor 0 y los que se fueron el valor 1. Inicialmente todos los valores de la variable son 0. Cuando el barco i abandona el puerto se le asigna al valor Barcosidos($i,1$) el valor 1.
Cantidad cargada			Esta variable inicialmente vale cero. En el momento que un barco arriba al puerto y comienza la carga va aumentando en función de la cantidad de productos que se estén cargando en el barco. Cuando parte el barco, se resetea y vuelve a 0.
Estado del puerto			Esta variable inicialmente vale cero. En el momento que un barco arriba al puerto pasa a valer 1. Cuando parte el barco, se resetea y vuelve a 0.

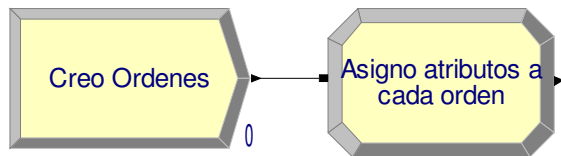
UltimoTurno en que se cargo			<p>En esta variable se registra el ultimo turno en que se llevo a cabo un proceso de carga de productos a un barco.</p> <p>Cada vez que se carga algo se pisa el valor anterior de esta variable con el turno en curso,, de manera que se van pisando los valores con el ultimo turno en el cual se registro actividad de carga.</p>
Ritmo estándar de carga tn por dia			<p>Una vez que un barco arriba al puerto, se establece el valor del ritmo estandar de carga en función del valor de la variable "Ritmo estándar carga 1 bodega" y la cantidad de bodegas contratadas para el barco que esta en el puerto.</p>
Ritmo acelerado de carga tn por dia			<p>Una vez que un barco arriba al puerto, se establece el valor del ritmo acelerado de carga en función del valor de la variable "Ritmo acelerado carga 1 bodega" y la cantidad de bodegas contratadas para el barco que esta en el puerto.</p>
Turno planeado salida por barco	M	1	<p>Esta variable es una variable auxiliar que permite en función de la fecha tardia de salida por barco y que hay 4 turnos por dia, calcular el turno en que debe partir el barco.</p> <p>Con el valor del turno en que debe partir cada barco, se pueden calcular los atrasos en módulos de a 6 horas.</p>
Espera x lluvia x barco	M	1	<p>Esta variable tiene inicialmente todos sus valores en 0.</p> <p>Cada vez que llueve y una orden debe esperar para ser cargada a causa de las condiciones climáticas, se registra el tiempo que debe esperar hasta que finalice la lluvia y se le asigna al barco asignado a esa orden, acumulando en cada valor Espera x lluvia x barco(i ,1) la espera acumulada del barco i</p>

Espera x nivel x barco	M	1	<p>Esta variable tiene inicialmente todos sus valores en 0.</p> <p>Cada vez que el nivel de agua es bajo y no permite que se realice la carga y una orden debe esperar para ser cargada por esta causa, se registra el tiempo que debe esperar hasta que el nivel de agua vuelva a ser el adecuado y se le asigna al barco asignado a esa orden, acumulando en cada valor Espera x nivel x barco (i ,1) la espera acumulada del barco i</p>
-------------------------------	---	---	--

13.2. Circuito de órdenes

A continuación se detalla cada parte del proceso del circuito de ordenes y producción completo.

13.2.1. Generación Órdenes - Asignación de atributos



Como punto de partida del circuito de ordenes se tiene el modulo Create "**Creo Ordenes**" el cual va a generar las N órdenes que se van a procesar en el tiempo fijado que se haya establecido como duración de las corridas. En este modulo "**Creo Ordenes**" se establece que se crean ordenes hasta alcanzar el valor de la variable "**Cantidad de Ordenes**", cuyo valor se explica en el punto que describe los inputs de datos de las ordenes.

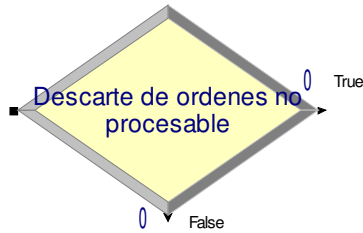
Una vez creadas las ordenes ingresan al modulo assign. Se establece en este módulo un contador a través de una variable definida como " Variable orden" que por cada orden que pasa por el modulo incrementa su valor en una unidad. De esta manera se le asigna luego uno de los atributos clave que diferencian a las ordenes entre si y es el "Numorden". En función de este atributo se le asignan luego muchos otros atributos, tomándolos de las variables detalladas en el punto que describe los Inputs de datos de ordenes.

En el modulo assign "**Asigno atributos a cada orden**" se asigna:

- A la variable "**Variable Orden**" el valor "**Variable Orden +1**"
- Al atributo "**NumOrden**" el valor " Variable Orden
- Al atributo "**PesoOrden**" el valor " Demanda Ordenes (NumOrden,1)"
- Al atributo "**Barco Asignado**" el valor " Barco x Orden (NumOrden,1)")"
- Al atributo "**Destino**" el valor " Destino x Orden (NumOrden,1)"
- Al atributo "**Cliente**" el valor " Cliente x Orden(NumOrden,1)"
- Al atributo "**Fecha tardia comienzo prd**" el valor "**Fecha tardia comienzo prod (NumOrden,1)"**
- Al atributo "**Fecha Entrega**" el valor "**Fecha entrega orden(NumOrden,1)"**
- Al atributo "**Fecha com carga**" el valor "**Fecha comienzo de carga (NumOrden,1)"**

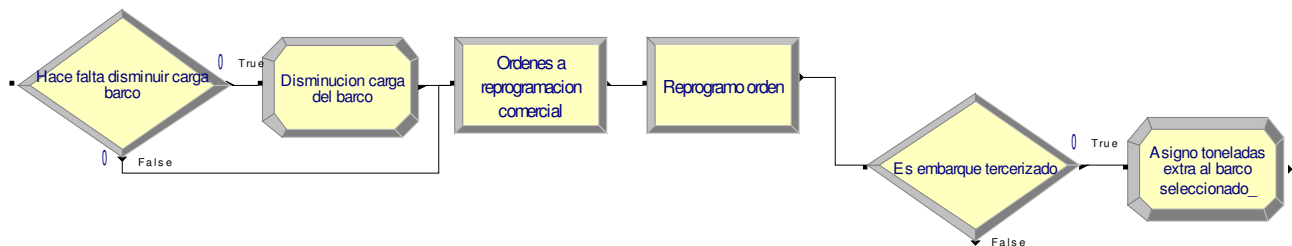
13.2.2. Control de fecha tardía de producción asignada a las ordenes

Luego de la asignación de atributos a las ordenes, pasan a un modulo Decide "**Descarte de ordenes no procesable**" donde se separan aquellas ordenes cuya " Fecha tardia comienzo prd" sea menor al día en curso.



Mediante este filtro se pretender separar aquellas ordenes que desde la planificación se les asigno una fecha tardía de comienzo de producción errónea, ya que no se va a poder cumplir y también aquellas ordenes que ya fueron producidas.

A las ordenes con fecha tardía de comienzo de producción errónea se las separa y se las envía al siguiente circuito:



Como primer paso las ordenes pasan por un modulo Decide "**Hace falta disminuir carga barco**", que separa las ordenes con embarque tercerizado.

Aquellas ordenes con embarque no tercerizado, se las hace pasar por el módulo , en el modulo "**Disminucion carga del barco**".

En este módulo se procura que se le disminuye la cantidad a transportar en un valor igual a la cantidad de la orden al barco que esa orden tenia asignado. Para poder hacer esto la variable "**Cargadisminuir (Barco Asignado,1)**" toma el valor: "**Cargadisminuir (Barco Asignado,1) + PesoOrden**". Siendo **PesoOrden** el peso de la orden que se esta reprogramando.

La forma de relacionar esta variable con la dinámica de circulación y carga de los barcos, se va a detallar en el punto donde se explica el circuito de barcos.

A continuación, se unen tanto las ordenes que tiene embarque tercerizado como las que pasaron por el modulo assign "Disminucion carga del barco" y pasan las ordenes por el modulo Write: "**Ordenes a reprogramación comercial**", que permite luego obtener los datos de las ordenes que se tuvieron que reprogramar, recolectando en este modulo todos los atributos asignados a la orden en un archivo de formato txt.

Luego, las ordenes pasan por el modulo Read **"Reprogramo orden"**, que va a requerir que por teclado se ingresen una nueva fecha tardía de producción y un nuevo embarque, en este orden. Mientras se ingresan estos datos el sistema esta en pausa.

Una vez que se ingresaron los valores se separan las ordenes con embarque tercerizado de manera de poder asignarle, a aquellas ordenes con embarque no tercerizado, la cantidad de toneladas correspondientes a la orden. Para asignarle esta cantidad al asginado por teclado, las ordenes pasan por un módulo assign **Asigno toneladas extra al barco seleccionado_"** y la variable **"Cargadisminuir (Barco Asignado,1)"** toma el valor **"Cargadisminuir (Barco Asignado,1) -PesoOrden"**.

Todas las ordenes que tuvieron que pasar por esta reprogramación comercial, vuelven a pasar por el modulo decide **"Descarte de ordenes no procesable"** de manera de verificar que la reprogramación se realizó correctamente.

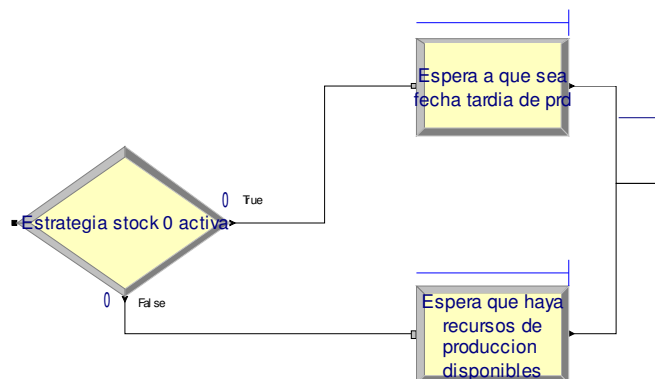
De esta manera todas las ordenes que ingresan a la próxima etapa de producción tienen una fecha tardía de comiendo de producción mayor o igual al día en curso.

Por otro lado, se tienen las ordenes que ya están producidas, que se las envia al stock, asignándoles el valor de tiempo en stock que les corresponde de acuerdo a la variable **"Dias stock ordenes ya producidas"**.

A las ordenes ya producidas se las ingresa con fecha tardía de comienzo de producción cero, de manera que se utiliza este valor para separarlas de las que se deben enviar a producir.

13.2.3. Envío de ordenes a producción

Una vez que se verificó que las ordenes tuvieran una fecha tardía de producción mayor al dia en curso pasan por los siguientes módulos:



Cuando las ordenes van a pasar a producción, pasan primero por el modulo Decide: **"Estrategia stock 0 activa"** que determina que estrategia de producción se va a tener en cuenta. Esta estrategia se establece a priori de la simulación mediante el valor que se cargue a la variable **" Estrategia stock 0"**.

En el detalle del Input los datos generales del sistema se explica que valores puede tomar y el significado de cada uno.

En caso que la estrategia de stock este activa, es decir que se quiera minimizar el tiempo en stock de los productos, las ordenes pasan al modulo Hold : **" Espera a que sea fecha tardia de prd"**.

En este modulo, las ordenes esperan en la cola **"Espera a que sea fecha tardia de prd.queue"** ordenada de acuerdo al menor valor del atributo **" Fecha tardia comienzo prd"** a que se cumpla la condición:

"Dia == Fecha tardia comienzo prd -2 && Cantidad en stock <= Stock máximo"

Esta expresión significa que se cumplan en simultaneo las siguiente condiciones:

- las ordenes esperan hasta dos días antes de su fecha tardía de comienzo de producción para ingresar en cola de producción y
- que la cantidad en stock no supere la cantidad definida inicialmente como capacidad máxima del almacén.

La primer condición es la que determina cuando se van a enviar las ordenes a producción y es la definida en el modelo conceptual para la estrategia de stock 0 activa.

La segunda condición es la que representa la capacidad limitada de stock, de manera de no comenzar a producir una orden cuando el almacén no tiene capacidad de almacenamiento.

Una vez que se cumplen estas dos condiciones en simultaneo se envían las ordenes al modulo **"Producción"**.

En caso que la estrategia de stock no este activa, las ordenes pasan al módulo Hold **"Espera que haya recursos de producción disponibles"**.

En este modulo, las ordenes esperan en la cola **"Espera que haya recursos de producción disponibles.queue"** ordenada de acuerdo al el menor valor del atributo **"Fecha tardia comienzo prd"** a que se cumpla la condición:

"STATE(Producción) <> STATEVALUE(Produccion,Ocupado) && Cantidad en stock <= Stock máximo"

Esta expresión significa que se cumplan en simultaneo las siguiente condiciones:

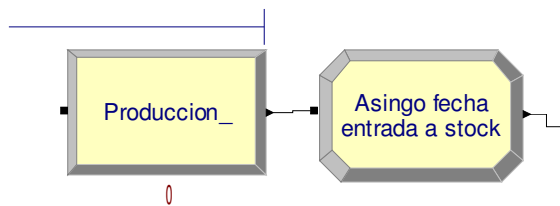
- las ordenes esperan hasta que haya recursos de producción disponibles y
- que la cantidad en stock no supere la cantidad definida inicialmente como capacidad máxima del almacén.

La primer condición es la que determina cuando se van a enviar las ordenes a producción y es la definida en el modelo conceptual para la estrategia de stock 0 no activa.

La segunda condición es la que representa la capacidad limitada de stock, de manera de no comenzar a producir una orden cuando el almacén no tiene capacidad de almacenamiento.

Una vez que se cumplen estas dos condiciones en simultaneo se envían las ordenes al modulo **"Producción"**.

13.2.4. Producción



Las ordenes que ingresan al módulo **"Producción"** esperan a ser producidas en la cola **"Produccion.queue"** ordenada de acuerdo al el menor valor del atributo **" Fecha tardia comienzo prd"** a que el recurso de producción esté disponible.

El ritmo de producción responde a una distribución normal en Horas con

Media: " Ritmo de producción tn porhora"

Desvío: " Desvío tiempo prd"

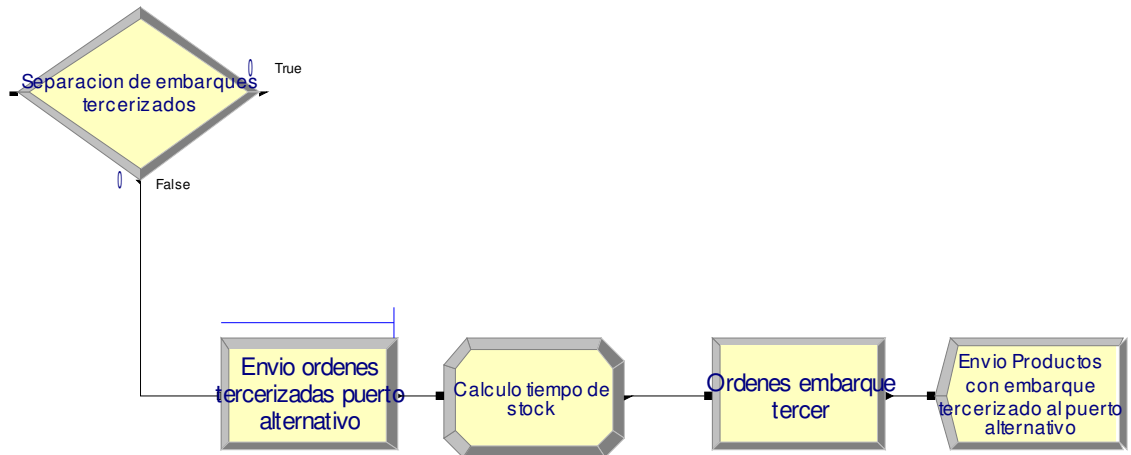
Y el tiempo de producción queda determinado por el valor del peso de la orden sobre el ritmo de producción.

Los valores que toman la media y el desvío dependen de variables que se definieron en el punto donde se detallan los Input de datos generales del sistema.

Una vez que las ordenes salen del modulo **"Producción"**, entran al módulo Assign **"Asigno fecha entrada a stock"** donde se les asigna:

- Al atributo "Fecha_fin_prd" el valor **"dia"**
- A la variable **"Cantidad en stock"** el valor **"Cantidad en stock + PesoOrden"**

13.2.5. Almacenamiento y despacho de ordenes con Embarque tercerizado



Una vez que salen las ordenes de producción, se separan las ordenes cuyos embarques están tercerizados con el modulo Decide: **"Separacion de embarques tercerizados"**.

Las órdenes con embarques tercerizados, se envían a al Hold **"Envio ordenes tercerizadas puerto alternativo"** que las retiene en la cola **"Envio ordenes tercerizadas puerto alternativo.queue"** ordenadas conforme al menor valor del atributo **"Fecha Entrega"** hasta que se cumpla la condición: **"Fecha Entrega <= Dia"**

Esta expresión significa que se espera para enviar las ordenes al puerto hasta que se cumpla la fecha en que se las debe entregar en el puerto alternativo.

Si la fecha de entrega es menor a la fecha en que la orden llega al HOLD, porque se produjo una demora en producción de esa orden u otra orden anterior, se envía igual al puerto alternativo.

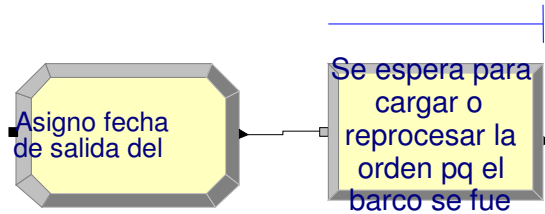
Luego pasan por el modulo assign **"Calculo tiempo de stock"** donde ser asignan:

- Al atributo **"Tiempo de stock"** el valor **"Dia - Fecha_fin_prd"**
- A la variable **"Cantidad en stock"** el valor **"Cantidad en stock - PesoOrden"**
- Al atributo **"Dia real entrega orden"** el valor **"Dia"**

De esta manera se registra el tiempo que cada orden estuvo en stock, se actualiza el valor de la variable **"Cantidad en stock"** y se registra el dia real en que se entrego la orden en el puerto alternativo.

Por último antes de salir del sistema las ordenes pasan por un modulo Write **"Ordenes embarque tercer"** y se graba un archivo txt que guarda los datos de cada una de estas ordenes. Las ordenes abandonan el sistema cuando pasan por el Dispose **"Envio Productos con embarque tercerizado al puerto alternativo"**.

13.2.6. Almacenamiento y espera de condiciones para realizar la carga



Las ordenes que salen de producción y no tienen su embarque tercerizado, pasan por un assign "**Asigno fecha tardía de salida del puerto**" donde se le asigna al atributo "**Fecha tardía salida del puerto**" el valor "**Fecha_tardia_salida_x_barco (Barco Asignado,1)**"

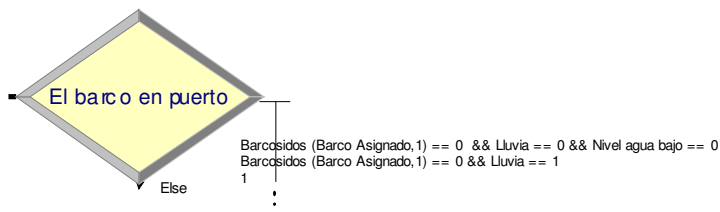
De esta manera se le asigna a cada orden la fecha tardia de salida del puerto en función del barco que tienen asignado.

Al salir de este assign, las ordenes entran al módulo Hold "**Se espera para cargar o reprocesar la orden pq el barco se fue**" y esperan en la cola "**Se espera para cargar o reprocesar la orden pq el barco se fue.queue**", que esta ordenada con el criterio del menor valor del atributo "**Fecha tardía salida del puerto**", a que se cumpla la condición: "**Barco en puerto == Barco Asignado || Barcosidos (Barco Asignado,1) == 1**"

Esta expresión significa que se espera a que se cumplan alguna de estas dos condiciones:

- El barco que este en el puerto sea el barco que la orden tiene asignado
- El barco que se le haya asignado a la orden se haya ido

A continuación las ordenes pasan por el modulo decide "**El barco en puerto**" a partir del cual se pueden tomar **cuatro caminos distintos** en función de las condiciones planteadas.

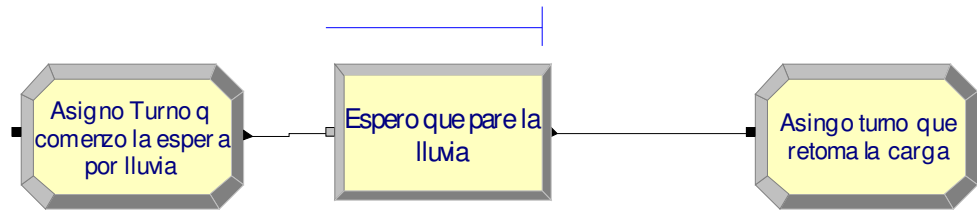


Camino 1 : Se cumple la condición: "**Barcosidos (Barco Asignado,1) == 0 && Lluvia == 0**"

Es decir, el barco esta en el puerto y no llueve. La descripción de este camino continúa en el punto "Carga de los productos al barco"

Camino 2: Se cumple la condición "**Barcosidos (Barco Asignado,1) == 0 && Lluvia == 1**". Es decir, el barco esta en puerto y esta lloviendo.

En este caso, las ordenes continúan a través de los siguientes módulos:



Como primer paso, las ordenes atraviesan el módulo assign "**Asigno Turno q comenzo la espera por lluvia**" donde el atributo "**Turno comenzó espera por lluvia**" toma el valor de la variable "**Turno**".

Luego pasan al modulo Hold "**Espero que pare la lluvia**" donde se espera a que se cumpla la condición "**Lluvia == 0**".

Esta expresión significa que se espera hasta que para la lluvia.

Para la cola de este Hold no se decidió ninguna estrategia de ordenamiento ya que es indistinto que orden retoma la carga antes.

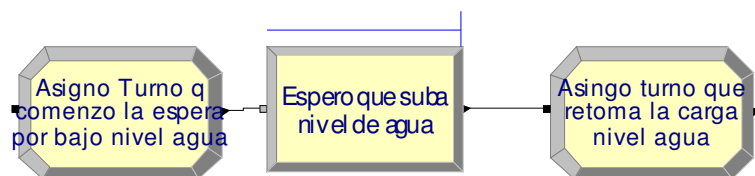
Una vez que paró la lluvia y se puede retomar la carga, las ordenes pasan por el assign "**Asingo turno que retoma la carga**" donde:

- La variable "**Espera x lluvia x barco (Barco Asignado,1)**" toma el valor: "**Espera x lluvia x barco (Barco Asignado,1) + (Turno - Turno comenzo espera por lluvia)**". De esta manera se van registrando todas las esperas del barco en puerto a causa de la lluvia.
- El atributo "**Espera por lluvia**" toma el valor "**Espera por lluvia + (Turno -Turno comenzo espera por lluvia)**". De esta manera se van registrando todos los atrasos que sufre cada orden a causa de la lluvia.

Una vez que salen de este assign, las ordenes toman el mismo camino que las ordenes del camino 1. La descripción de este camino continúa en el punto "Carga de los productos al barco".

Camino 3: Se cumple la condición "**Barcosidos (Barco Asignado,1) == 0 && Nivel agua bajo == 1**". Es decir, el barco esta en puerto y el nivel de agua es bajo y no se puede realizar la carga.

En este caso, las ordenes continúan a través de los siguientes módulos:



Como primer paso, las ordenes atraviesan el módulo assign "**Asigno Turno q comenzo la espera por bajo nivel agua**" donde el atributo "**Turno comenzo espera por nivel agua**" toma el valor de la variable "**Turno**".

Luego pasan al modulo Hold "**Espero que suba nivel de agua**" donde se espera a que se cumpla la condición "**Nivel agua bajo == 00**".

Esta expresión significa que se espera hasta que el nivel de agua vuelva al nivel minimo requerido para retomar la carga.

Para la cola de este Hold no se decidió ninguna estrategia de ordenamiento ya que es indistinto que orden retoma la carga antes.

Una vez que paró la lluvia y se puede retomar la carga, las ordenes pasan por el assign "**Asingo turno que retoma la carga nivel agua**" donde:

- La variable "**Espera x nivel x barco (Barco Asignado,1)**" toma el valor: "**Espera x nivel x barco(Barco Asignado,1) + (Turno - Turno comenzo espera por nivel agua)**". De esta manera se van registrando todas las esperas del barco en puerto a causa de un bajo nivel de agua.
- El atributo "**Espera por nivel agua**" toma el valor **Espera por nivel agua + (Turno - Turno comenzo espera por nivel agua)**". De esta manera se van registrando todos los atrasos que sufre cada orden a causa un bajo nivel de agua.

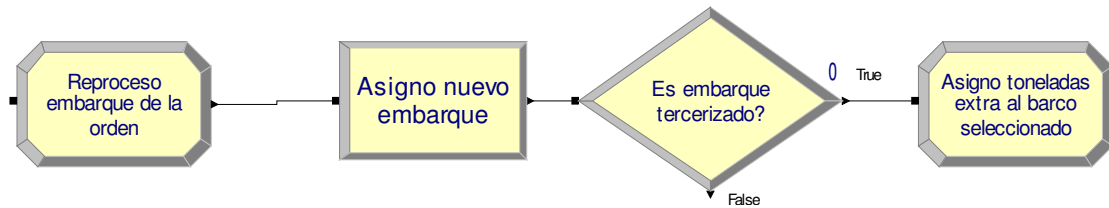
Una vez que salen de este assign, las ordenes toman el mismo camino que las ordenes del camino 1. La descripción de este camino continúa en el punto "Carga de los productos al barco".

Camino 4: Este camino lo toman aquellas ordenes que salieron del Hold "**Se espera para cargar o reprocesar la orden pq el barco se fue**" bajo la condición "**Barcosidos (Barco Asignado,1) == 1**" ya que las ordenes que cumplen la otra condición definida en este Hold son las ordenes que tomaron los caminos 1, 2 y 3.

Por lo tanto estas ordenes son aquellas cuyo barco asignado ya abandono el puerto y requieren que se les reasigne un nuevo numero de barco que las lleve a destino o se les tercerice el embarque. La descripción de este camino continúa en el punto "Re-asignación de embarques"

13.2.7. Re-asignación de embarques

Todas aquellas órdenes cuyos barcos asignados abandonaron el puerto antes de cargarlas, deben ser llevadas a destino con otro barco. Por lo tanto se plantea el siguiente proceso, al cual se envían todas las ordenes o partes de ordenes que quedan en esta situación:



El primer paso, es el módulo assign "**Reproceso embarque de la orden**" donde se le asigna:

- Al atributo "**Dia Reprocesamiento**" el valor "**Dia**" y
- Al atributo "**Cantidad no cargada**" el valor "**PesoOrden - Cantidad carga con ritmo acelerado - Cantidad cargada con ritmo normal**"

El atributo "**Cantidad no cargada**" representa la cantidad de toneladas que no se cargaron ya que puede que se tenga que reasignar embarque a una orden parcial, por lo tanto al valor original del peso de la orden, se le restan las toneladas cargadas que ya fueron transportadas.

También se le asigna al atributo "**PesoOrden**" el nuevo valor definido por el atributo "**Cantidad no cargada**" ya que es el nuevo valor que representa el peso de la orden. Luego las ordenes llegan al módulo Read "**Asigno nuevo embarque**" el cual va a poner la simulación en pausa y va a requerir que por teclado, se ingrese el valor del atributo "Barco asignado" que es el nuevo embarque para esa orden.

A partir del barco asignado a esta orden, se separan las ordenes a las que se les asigno un embarque tercerizado. Estas ordenes son enviadas al Hold "**Envio ordenes tercerizadas puerto alternativo**" cuyo funcionamiento ya se describió en el punto "Almacenamiento y despacho de ordenes con Embarque tercerizado".

Las ordenes con embarques no tercerizados, se envían a un assign que les asigna:

- Al atributo "**Fecha tardia salida del puerto**" el valor "**Fecha_tardia_salida_x_barco (Barco Asignado,1)**"

De esta manera se le asigna la nueva fecha tardia de salida del puerto que le corresponde de acuerdo al barco que se le asigno.

- A la variable "**Cargadisminuir (Barco Asignado,1)**" el valor "**Cargadisminuir (Barco Asignado,1)-PesoOrden**"

De esta manera se le actualiza la cantidad de toneladas que tiene que llevar el barco que se le asigno a la orden.

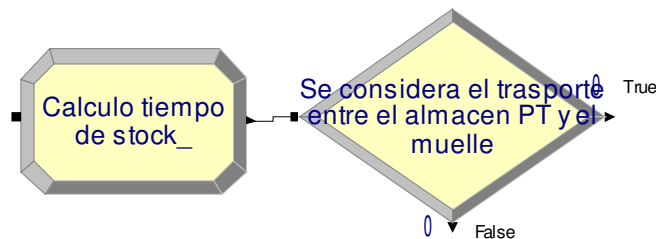
Una vez que salen de este assign, se envían las ordenes al Hold "**Se espera para cargar o reprocesar la orden pq el barco se fue**", cuya descripción comienza en el punto "Almacenamiento y espera de condiciones para realizar la carga"

13.2.8. Carga de las productos al barco

Una vez que las órdenes se pueden comenzar a cargar en el barco. El proceso de carga, ya sea que se considere dentro de la carga el transporte desde el almacén al muelle o se considere por fuera, va a constar de 4 etapas idénticas. En cada una de estas 4 etapas, se va a proceder a cargar el 25% de la orden.

Cada vez que se finaliza con una de estas 4 etapas, excepto la última, se comienza desde un módulo Decide con la misma lógica que el decide " **El barco en puerto**" a partir del cual se puede desembocar en alguno de los 4 caminos descriptos en el punto "Almacenamiento y espera de condiciones para realizar la carga"

Cada vez que de ese decide se desemboque en el camino 1, se sigue de acuerdo al siguiente proceso:



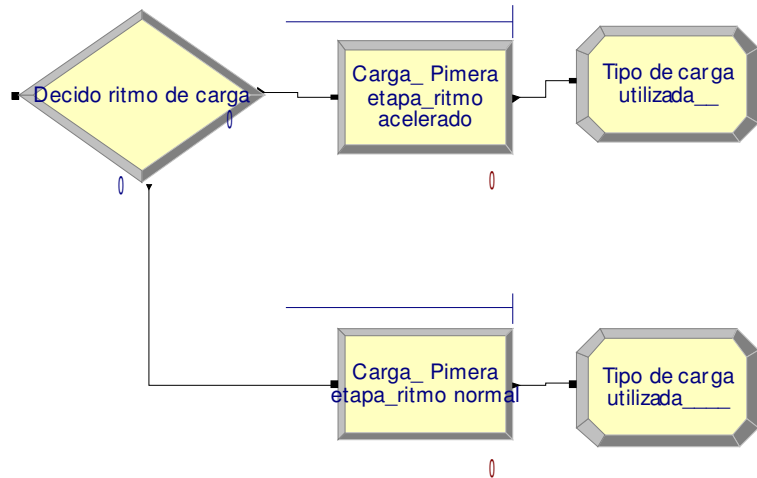
Como primer paso se tiene, el assign " **Calculo tiempo de stock_**" donde se asigna:

- Al atributo " **Tiempo de stock**" el valor " **Dia - Fecha_fin_prd**"
- A la variable " **UltimoTurno en que se cargo**" el valor " **Turno**"
- A la variable " **Cantidad en stock**" el valor " **Cantidad en stock - PesoOrden**".
- A la variable " **cantidad a cargar**" el valor " **PesoOrden*0.25**"

Al salir de este assign pasan por el módulo Decide " **Se considera el transporte entre el almacen PT y el muelle**" en el cual si valor de la variable " **Transporte entre almacén y puerto**" es igual a 0 se realiza el proceso de carga y sino se realiza el transporte de los productos desde el almacén hasta el puerto y luego la carga.

En caso que se considere el transporte entre el almacén y el muelle independiente de la carga se realiza un proceso de carga que se describe en el punto "Transporte de los productos entre el almacén y el muelle".

En caso que se no considere el transporte entre el almacén y el muelle independiente de la carga se continúa con los siguientes módulos para cargar cada cuarto de la orden:



El primer paso es un módulo decide, en el cual se decide el ritmo de carga a utilizar. En caso que la fecha de comienzo carga de la orden, representada por el atributo **"Fecha com carga"** sea menor al día en curso, se decide seguir con ritmo acelerado de carga, caso contrario se procede con el ritmo estándar.

En el modulo **" Carga_ Pimera etapa_ritmo acelerado"** el tiempo de carga del 25% de cada orden queda determinado por una distribución normal con los siguientes parámetros:

Media: (Ritmo acelerado de carga tn por día / 24)

Desvío: "Desvio tiempo de carga"

Y el tiempo de carga de cada 25% de la orden queda determinado por el $(\text{PesoOrden} / 4)$ sobre el ritmo de carga

A la salida de este módulo se tiene el módulo assign **" Tipo de carga utilizada"** donde se asigna

Al atributo **" Cantidad carga con ritmo acelerado"** el valor : **" Cantidad carga con ritmo acelerado + $(\text{PesoOrden} * 0.25)$ "**

A la variable **"Cantidad cargada"** el valor **"Cantidad cargada + $\text{PesoOrden} * 0.25$ "**

En caso que se tenga del decide que se va a cargar con ritmo normal las ordenes pasan por el modulo **" Carga_ Pimera etapa_ritmo normal "** el tiempo de carga del 25% de cada orden queda determinado por una distribución normal con los siguientes parámetros:

Media: (Ritmo estandar de carga tn por día/ 24)

Desvío: " Desvio tiempo de carga "

Y el tiempo de carga de cada 25% de la orden queda determinado por el $(\text{PesoOrden} / 4)$ sobre el ritmo de carga

A la salida de este módulo se tiene el módulo assign "**Tipo de carga utilizada**" donde se asigna

- Al atributo "**Cantidad cargada con ritmo normal**" el valor : **Cantidad cargada con ritmo normal + $(\text{PesoOrden} * 0.25)$** "
- A la variable "**Cantidad cargada**" el valor "**Cantidad cargada + $\text{PesoOrden} * 0.25$** "

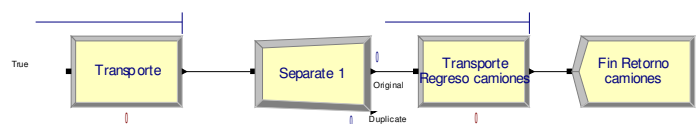
Una vez que la orden sale de haberse cargado a ritmo estándar o a ritmo acelerado, en caso que no se haya terminado de carga por ser alguna de las primeras 3 etapas, se repite el proceso de cargar de a 25% del peso de la orden, comenzando por el módulo decide "**El barco en puerto**" a partir del cual puede suceder que se continúe con la carga normalmente, se largue a llover y se deba esperar a que pare para continuar la carga o que antes de terminar la carga el barco se haya ido, en cuyo caso se le debe asignar barco al residual de la orden que no se transportó.

Una vez que se finalizó con el 100% de la carga, el circuito sigue de acuerdo a lo descrito en el punto "Finalización de la carga de una orden".

13.2.9. Transporte de los productos entre el almacén y el muelle

En caso que se considere el transporte de productos entre el almacén y el muelle independientemente de la carga, de cada módulo decide que se pregunta si la variable "**Transporte entre almacen y puerto**" es igual a 1, se va a derivar en este proceso.

Al ser un proceso complementario de la carga, y esta considerarse en 4 etapas sucesivas, el este proceso esta replicado también 4 veces. Cada una de estas réplicas esta ubicada previa al proceso de carga descrito en el punto anterior.



Cada uno de estos 4 procesos de transporte comienza con el módulo process "**Transporte**" en el cual, el tiempo de viaje tiene una distribución normal con los siguientes parámetros:

Media: "Tiempo viaje Alm_Puerto Ida_Media"

Desvío "Tiempo viaje Alm_Puerto Ida_Media"

A continuación del transporte las ordenes se incluyó un modulo Separate que por cada orden que entra, salen dos con iguales características.

Por cada par que sale del Separate, una orden se dirige al modulo decide en el cual se establece el ritmo de carga y se procede con la carga, proceso descripto en el punto anterior y la otra se dirige a un modulo process "**Transporte Regreso camiones**". Este ultimo módulo process, representa el retorno de los camiones vacíos desde el puerto hasta el almacén.

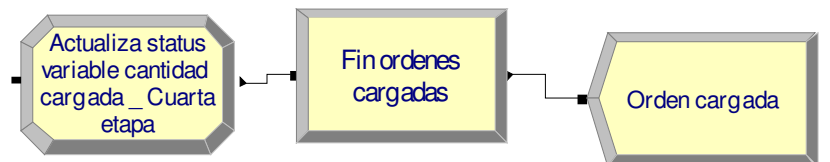
Los tiempos asociados a este modulo responden a una distribución normal cuyos parámetros son:

Media: " Tiempo viaje Alm_Puerto Vuelta_Media"

Desvío " Tiempo viaje Alm_Puerto Vuelta_Desvio"

Luego que se considera que el camión vacío arribo al almacén, esa entidad sale del sistema en un dispose. Se le asignan tanto al transporte de ida como al de vuelta los mismos recursos, ya que son los mismos camiones que están en el circuito.

13.2.10. Finalización de la carga de una orden



Luego de finalizada la cuarta y última etapa de carga, las ordenes pasan por el módulo assign "**Actualiza status variable cantidad cargada _ Cuarta etapa**" donde además de asignar:

- A la variable "**Cantidad cargada**" el valor: "**Cantidad cargada + (PesoOrden*0.25)**"

También se le asigna a la orden:

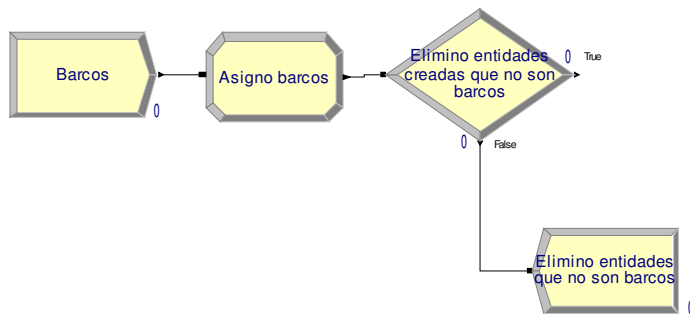
- El atributo "**Dia finalizada carga**" que toma el valor "**dia**"

Luego, las ordenes pasan por un modulo Write que genera un archivo txt para todas las corridas se registran todas las ordenes con sus respectivos atributos y finalmente salen del sistema en el modulo dispose "**Orden cargada**".

13.3. Circuito de barcos

A continuación se detalla cada parte del proceso del circuito de barcos completo.

13.3.1. Creación barcos



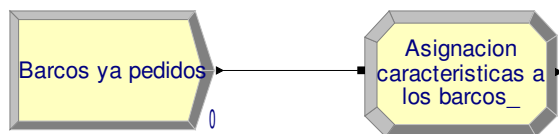
Este circuito comienza con la creación de una entidad por día en el módulo create **"Barcos"**.

A cada entidad que se crea, se le asigna en el módulo assign **"Asigno barcos"** el atributo **"Numero de barco"** que levanta el valor de la variable **"Barco pedido por día (Dia,1)"**.

De esta manera se le asigna a la entidad creada el día i el número de barco que se pide el día i.

A continuación, como se tienen muchas entidades con el atributo **"Numero de barco"** igual a cero, se las separa, mediante el modulo decide **"Elimino entidades creadas que no son barcos"** enviando las entidades con el atributo **"Numero de barco"** nulo a un modulo dispose.

También se crean los barcos que o bien ya se encuentran en puerto en un create aparte que crea un cantidad determinada de barcos, que corresponde a la cantidad de barcos que ya se encuentran en puerto.

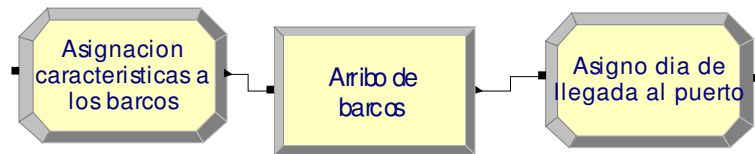


A continuación de este create se encuentra en assign **"Asignación de características a los barcos"**, en este assign se asigna el numero de barco y en función de este numero de barco todas los demás atributos. Se debe asignar además el día de arribo al puerto de los barcos que ya se encuentran en el, de manera de poder guardar este registro. Para esto se definió la variable **"Día arribo de barcos en puerto"** donde se registra el día de arribo de aquellos barcos que ya están en el puerto al momento de comenzar la simulación.

En el punto siguiente se detallan los demás atributos que se le asignan a los barcos. Estos barcos se los envía directamente al puerto, sin pasar por las demoras y esperas de arribo.

13.3.2. Asignación de atributos y arribo de barcos al puerto.

Una vez que se tiene únicamente en el puerto a aquellas entidades con un numero de barco asignado no nulo, siguen circulando a través de los módulos que se muestran a continuación



En primero lugar, se les asigna en el modulo assign **"Asignacion características a los barcos"** todos los valores de los atributos que se detallan a continuación.

- El atributo **"Carga del barco"** que toma el valor **"Toneladas contratadas x barco (Numero de barco,1)"**
- El atributo **"Fecha tardia salida del puerto"** que toma el valor **"Fecha_tardia_salida_x_barco (Numero de barco ,1)"**
- El atributo **" Día planeado de llegada al puerto"** que toma el valor **" Dia de llegada para cada barco (Numero de barco,1)"**
- El atributo **" Cantidad bodegas"** que toma el valor **" Cantidad de bodegas contratadas xbarco (Numero de barco,1)"**
- El atributo **" Destino"** que toma el valor **" Destino por barco (Numero de barco,1)"**
- La variable **" Turno planeado salida por barco(Numero de barco,1)"** que toma el valor **" Fecha_tardia_salida_x_barco(Numero de barco,1)*4"**
- El atributo **" turno planeado salida puerto"** que toma el valor **" Turno planeado salida por barco (Numero de barco, 1)"**

El próximo paso, es una demora, representada por el modulo **" Arribo de barcos"**. que representa el final del viaje del barco desde el día que se considera que se lo solicitó hasta que llega al puerto. El tiempo de esta demora se determina con una distribución de probabilidad normal con los siguientes parámetros:

Media: **"Media arribo barcos al puerto"**

Desvío **" Desvío arribo barcos"**

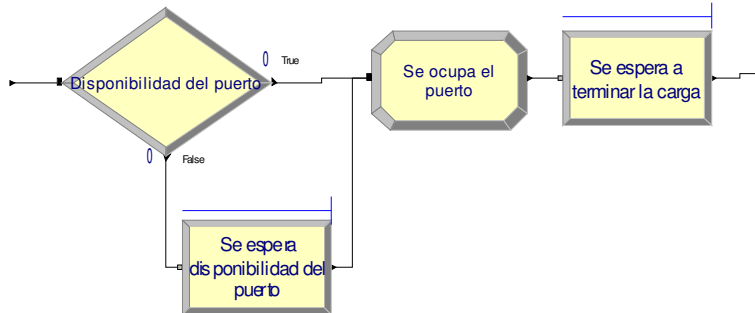
Una vez que salen de esta demora, se considera que el barco está en condiciones de ocupar el puerto. Los barcos pasan por el modulo assign **" Asigno día de llegada al puerto"** donde se asigna:

- Al atributo **" Día de arribo al puerto"** el valor **"dia"**

- Al atributo " **Días de atraso del barco en arribo al puerto**" el valor " **Día planeado de llegada al puerto - Día de arribo al puerto**"

13.3.3. Ocupación del puerto

Una vez que los barcos están en condiciones de ocupar el puerto, se debe verificar que el puerto este en condiciones de recibir al barco.



Es este punto los barcos pasan por el módulo assign " **Disponibilidad del puerto**" donde se verifica que la variable " **Estado del puerto**" sea igual a 0, lo cual representa que el puerto esta libre.

En caso que el puerto este libre, el barco sigue su camino rumbo a la ocupación del puerto. En cambio si el puerto no esta libre, se envían los barcos al modulo Hold " **Se espera disponibilidad del puerto**" donde los barcos esperan en una cola " **Se espera disponibilidad del puerto.Queue**" ordenada conforme al menor valor del atributo " **Fecha tardia salida del puerto**" a que se cumpla la condición "Estado del puerto == 0". Esta expresión representa que se libere el puerto y el primer barco de la cola se dirige a ocupar el puerto.

Cada barco que se dirija a ocupar el puerto, pasa por el módulo assign " **Se ocupa el puerto**", donde se asigna:

- A la variable " **Estado del puerto** " el valor " **1**"
- A la variable " **Barco en puerto**" el valor " **Numero de barco**"
- Al atributo " **Turno de ocupacion del puerto**" el valor " **Turno** "
- A la variable " **Barcosidos (Numero de barco,1)**" el valor " **0**"
- A la variable " **Ritmo acelerado de carga tn por día**" el valor " **Ritmo acelerado carga 1 bodega * Cantidad bodegas**"
- A la variable " **Ritmo estandar de carga tn por día**" el valor " **Ritmo estandar carga 1 bodega * Cantidad bodegas**"

Una vez que se asignaron todos estos valores a las variables y los atributos, los barcos ocupan efectivamente el puerto, pasando al modulo Hold " **Se espera a terminar la**

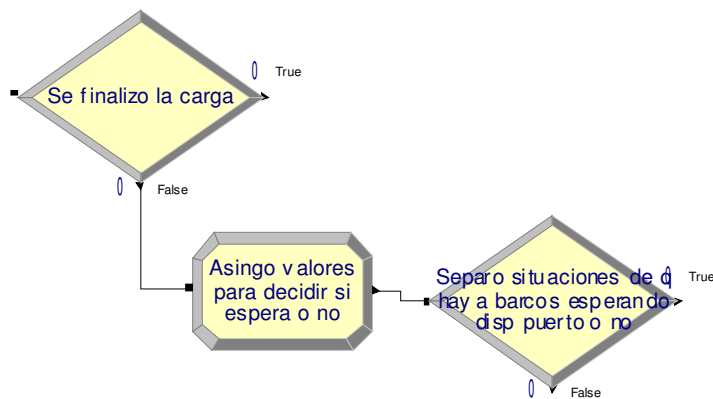
carga". En este Hold el barco que está en el puerto espera a que se cumplan alguna de estas condiciones:

" Cantidad cargada == (Carga del barco - Cargadisminuir (Numero de barco,1)) || Fecha tardía salida del puerto < Día"

Esta expresión significa que el barco va a dejar el mencionado modulo Hold cuando se cumpla alguna de las dos condiciones que se mencionan a continuación:

- La cantidad cargada es igual a la cantidad que se le había asignado al barco que esta en puerto agregando la toneladas extra que pudieron haber sido agregadas a este barco, y quitando las toneladas de aquellas ordenes que se replanificaron y se decidió que no iban a viajar en este barco.
- Se cumpla la fecha fijada como tardía para que el barco abandone el muelle.

13.3.4. Circuito de decisión de la partida del barco



Los barcos que salen del Hold "**Se espera a terminar la carga**" lo hacen porque cumplen una de las dos condiciones citadas, entonces cuando salen de este Hold, pasan por el decide "**Se finalizo la carga**" donde se separan aquellos barcos que efectivamente terminaron de cargar todas las toneladas que tenían asignadas de aquellos que cumplieron su fecha limite en el puerto y se debe decidir cuanto mas van a permanecer en el puerto.

Del decide "**Se finalizo la carga**" si se cumple la condición que confirma que se finalizo la carga, los barcos continúan por el circuito final descrito en el punto "Partida de los barcos"

Los barcos que no finalizaron la carga pero cumplieron su fecha limite de permanencia en el puerto, es decir que se cumplió su fecha tardía de salida del puerto y no salieron, pasan al assign "**Asingo valores para decidir si espera o no**" donde se asignan valores útiles para las decisiones. Los valores que se asignan son:

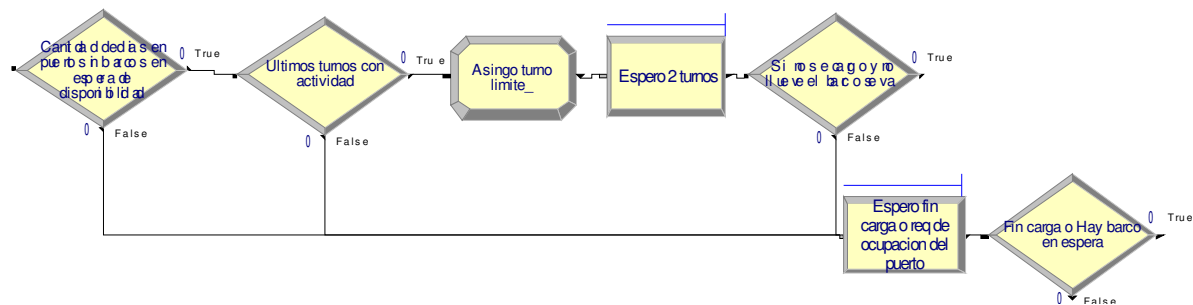
- Al atributo "**Porcentaje cargado**" el valor "**((Cantidad cargada * 100)/(Carga del barco - Cargadisminuir (Numero de barco,1)))**" Este valor, tal como indica el nombre el atributo representa el porcentaje que efectivamente se cargo, del total que debería cargar el barco.
- Al atributo "**turno_ahora**" el valor "**Turno**"
- Al atributo "**Ultimo turno con carga registrado**" el valor "**UltimoTurno en que se cargo**"

Todas los barcos, luego de pasar por este assign, entran en el decide "**Separo situaciones de q haya barcos esperando disp puerto o no**".

En este decide se divide el circuito de decisión en dos ramas, una de ellas es en la cual hay barcos esperando que se libere el puerto para poder ocuparlo, camino que se detalla en el punto "Decisión de partida de barcos, con otros barcos esperando disponibilidad del puerto".

La otra rama es la que considera que no hay otros barcos esperando la disponibilidad del puerto para ocuparlo, camino que se detalla en el punto "Decisión de partida de barcos, sin barcos esperando disponibilidad del puerto"

13.3.5. Decisión de partida de barcos, sin barcos esperando disponibilidad del puerto



El primer modulo dentro de esta rama del circuito de decisión para determinar el momento en que el barco abandona el puerto, es el decide "**Cantidad de días en puerto sin barcos en espera de disponibilidad**".

En este decide, se envían los barcos que arribaron hace menos de 5 días en puerto al Hold "**Espero fin carga o req de ocupacion del puerto**". En este hold, se espera para liberar los barcos a que se cumpla la siguiente condición:

"NQ(Se espera disponibilidad del puerto.Queue) <> 0 || Cantidad cargada==(Carga del barco - Cargadisminuir (Numero de barco,1))"

Esta expresión significa que aquel barco que cumpla alguna de las condiciones que se citan a continuación va a abandonar el Hold.

- La cantidad cargada es igual a la cantidad que se le había asignado al barco que esta en puerto agregando la toneladas extra que pudieron haber sido agregadas a este barco, y quitando las toneladas de aquellas ordenes que se replanificaron y se decidió que no iban a viajar en este barco.
- Arribo un barco y esta esperando la disponibilidad del puerto

A continuación del hold, esta el decide "**Fin carga o Hay barco en espera**" a los barcos que efectivamente finalizaron la carga los envía al circuito que se describe en el punto "Partida de los barcos".

Por otro lado a los barcos que no finalizaron la carga, pero salieron del hold porque otro barco quiere ocupar el puerto y esta esperando la disponibilidad del mismo, los envía al circuito "Decisión de partida de barcos, con otros barcos esperando disponibilidad del puerto".

Por otro lado se tienen los barcos que salen del decide "**Cantidad de días en puerto sin barcos en espera de disponibilidad**" y hace menos de 5 días que arribaron al puerto que se envían al decide "**Ultimos turnos con actividad**" a partir del cual los barcos en los que se registro carga en los últimos 3 turnos se los envía al hold "**Espero fin carga o req de ocupacion del puerto**", descripto anteriormente. Por otro lados, los barcos en los que no se registra que se hayan cargado en los últimos 3 tunos se dirigen al assign "**Asingo turno limite_**" donde se les asigna el atributo "**turno_ahora**" con el valor "**Turno**".

De alli, van al Hold "**Espero 2 turnos**" donde esperan hasta que se cumpla la expresión: "Turno == (turno_ahora +2) || Cantidad cargada==(Carga del barco - Cargadisminuir (Numero de barco,1))"

Esta expresión significa que los barcos van a esperar a que se cumpla alguna de esta condiciones:

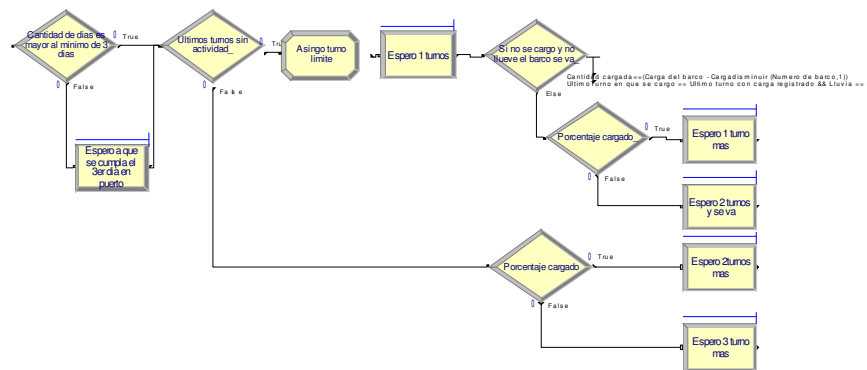
- La cantidad cargada es igual a la cantidad que se le había asignado al barco que esta en puerto agregando la toneladas extra que pudieron haber sido agregadas a este barco, y quitando las toneladas de aquellas ordenes que se replanificaron y se decidió que no iban a viajar en este barco.
- Hayan pasado dos turnos

En cuanto se cumple alguna de las condiciones, salen del Hold y pasan por el decide "**Si no se cargo y no llueve el barco se va**" en el cual, se separan aquellos barcos en los que no se registro carga durante los últimos 2 turnos que se espero en el hold "**Espero 2 turnos**" y no fue a causa de la lluvia que no se haya cargado. Se decide que estos

barcos abandonen el puerto, siguiendo el camino descrito en el punto "Partida de los barcos"

El resto de los barcos que salen del decide " Si no se cargo y no llueve el barco se va" se dirigen al Hold hold "**Espero fin carga o req de ocupacion del puerto**", descrito anteriormente.

13.3.6. Decisión de partida de barcos, con otros barcos esperando disponibilidad del puerto



Cuando un barco excedió la fecha en que deba partir del puerto y hay un barco o más esperando la disponibilidad del puerto, el barco que esta ocupando el puerto sigue el circuito que se describe a continuación.

En primer lugar se tiene el decide "**Cantidad de días es mayor al mínimo de 3 días**" que a aquellos barcos cuya permanencia en el puerto fue menor al mínimo fijado en 3 días, los envía al Hold "**Espero a que se cumpla el 3er día en puerto**" donde los barcos aguardan a que se cumpla su tercer día de permanencia en puerto. En este Hold también se considera como condición para liberar los barcos que se haya finalizado la carga.

Los barcos cuya permanencia ya supera el mínimo de 3 días, pasan luego por el decide "**Ultimos turnos sin actividad**" a partir del cual se separan los barcos en los que se registro carga en los últimos 2 turnos de los que no.

Los barcos en cuales no se registro actividad de carga en los ultimos 2 turnos, pasan por un assign "**Asingo turno limite**" donde se les asigna el atributo "**turno_ahora**" con el valor "**Turno**".

De alli, van al Hold "**Espero 1 turnos**" donde esperan hasta que se cumpla la expresión: " $\text{Turno} == (\text{turno_ahora} + 1) \parallel \text{Cantidad cargada} == (\text{Carga del barco} - \text{Cargadisminuir}(\text{Numero de barco}, 1))$ "

Esta expresión significa que los barcos van a esperar a que se cumpla alguna de esta condiciones:

- La cantidad cargada es igual a la cantidad que se le había asignado al barco que esta en puerto agregando la toneladas extra que pudieron haber sido agregadas a este barco, y quitando las toneladas de aquellas ordenes que se replanificaron y se decidió que no iban a viajar en este barco.
- Haya pasado un turno

En cuanto se cumple alguna de estas condiciones, salen del Hold y pasan por el decide "**Si no se cargo y no llueve el barco se va_**". En este decide se detectan tres posibles situaciones que son:

- La cantidad cargada es igual a la cantidad que se le había asignado al barco que esta en puerto agregando la toneladas extra que pudieron haber sido agregadas a este barco, y quitando las toneladas de aquellas ordenes que se replanificaron y se decidió que no iban a viajar en este barco.
- No se cargo nada en el ultimo turno y no fue a causa de la lluvia
- Se cargo durante el ultimo turno, o no se cargo a causa de la lluvia.

En el caso que el barco aplique a alguna de las dos primeras situaciones el barco sigue por circuito que se describe en el punto "Partida de los barcos".

En caso que se trate de la tercer situación los barcos pasan al decide "**Porcentaje cargado_**" en el cual

- Si el porcentaje cargado es $> 80\%$ → los barcos van al Hold "**Espero 1 turno mas**" donde aguardan la condición: " $\text{Turno} == (\text{turno_ahora} + 1) \parallel \text{Cantidad cargada} == (\text{Carga del barco} - \text{Cargadisminuir}(\text{Numero de barco}, 1))$ "
- Si el porcentaje cargado es < 80 → los barcos van al Hold "**Espero 2 turnos y se va**" donde aguardan la condición " $\text{Turno} == (\text{turno_ahora} + 2) \parallel \text{Cantidad cargada} == (\text{Carga del barco} - \text{Cargadisminuir}(\text{Numero de barco}, 1))$ "

En estos Hold se espera a que se cumpla la primera de alguna de las siguientes condiciones

- La cantidad cargada es igual a la cantidad que se le había asignado al barco que esta en puerto agregando la toneladas extra que pudieron haber sido agregadas a este barco, y quitando las toneladas de aquellas ordenes que se replanificaron y se decidió que no iban a viajar en este barco.
- Haya pasado la cantidad de turnos determinada en cada Hold.

Los barcos que salen de estos Hold, se dirigen al camino descrito en el punto "Partida de los barcos"

Los barcos que salen del decide "**Ultimos turnos sin actividad_**" cumpliendo la condición de que se registró carga en los últimos dos turnos los barcos se dirigen al decide "**Porcentaje cargado**" en el cual

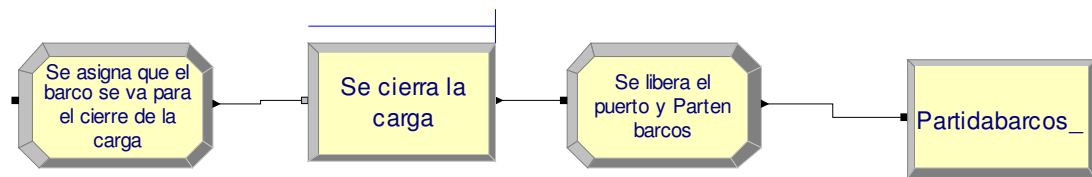
- Si el porcentaje cargado es $> 80\%$ → los barcos van al Hold "**Espero 2 turnos mas**" donde aguardan la condición " $\text{Turno} == (\text{turno_ahora} + 2) \parallel \text{Cantidad cargada} == (\text{Carga del barco} - \text{Cargadisminuir}(\text{Numero de barco}, 1))$)"
- Si el porcentaje cargado es < 80 → los barcos van al Hold "**Espero 3 turno mas**" donde aguardan la condición: " $\text{Turno} == (\text{turno_ahora} + 3) \parallel \text{Cantidad cargada} == (\text{Carga del barco} - \text{Cargadisminuir}(\text{Numero de barco}, 1))$)"

En estos Hold se espera a que se cumpla la primera de alguna de las siguientes condiciones

- La cantidad cargada es igual a la cantidad que se le había asignado al barco que esta en puerto agregando la toneladas extra que pudieron haber sido agregadas a este barco, y quitando las toneladas de aquellas ordenes que se replanificaron y se decidió que no iban a viajar en este barco.
- Haya pasado la cantidad de turnos determinada en cada Hold.

Los barcos que salen de estos Hold, se dirigen al camino descrito en el punto "Partida de los barcos"

13.3.7. Partida de los barcos



Todos los barcos que parten del puerto, pasan antes de efectivamente abandonar el muelle por el assign " Se asigna que el barco se va para el cierre de la carga" donde se le asigna:

- A la variable "**Barcosidos(Numero de barco,1)**" el valor 1

Asignándole este valor a la variable, se registra que se comenzó a cerrar la carga, por lo tanto todas las ordenes que tenían asignado ese numero de barco van a requerir que se les asigne un nuevo numero de embarque.

Por otro lado, se tienen los productos que, al momento que se decide que el banco parta, estaban en proceso de carga, por eso los barcos pasan por el modulo hold " Se cierra la carga" donde se espera a que se cumpla la condición: " $\text{STATE}(\text{Carga}) <> \text{STATEVALUE}(\text{Carga}, \text{Ocupado}) \parallel \text{Cantidad cargada} == \text{Cantidad que se va a cargar}$ "

Esta expresión procura que todos los productos que estén en proceso de carga, finalicen este proceso.

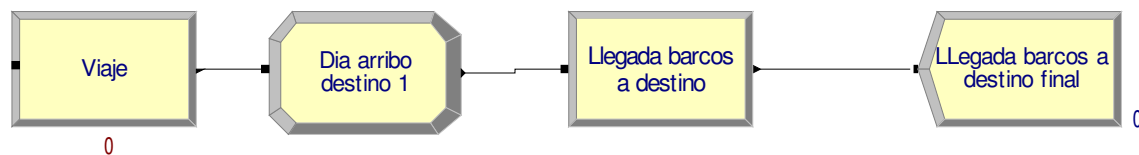
Una vez que se cerró la carga, los barcos abandonan el hold, y pasan por el assign " Se libera el puerto y Parten barcos" donde se asignan múltiples valores a atributos y

variables, muchos de los cuales son para resetear los valores de las variables que dependen del barco que este en puerto como cantidad cargada, y barco en puerto. En este assign se le asigna:

- A la variable "**Estado del puerto**" el valor "**0**"
- Al atributo "**Fecha partida barco**" el valor "**Dia**"
- Al atributo "**Cantidad que lleva el barco**" el valor "**Cantidad cargada**"
- A la variable "**Barco en puerto**" el valor "**0**"
- A la variable "**Cantidad cargada**" el valor "**0**"
- Al atributo "**Turno salida del puerto real**" el valor "**Turno**"
- A la variable "**Cantidad que se va a cargar**" el valor "**0**"
- Al atributo "**Espera por lluvia**" el valor "**Espera x lluvia x barco (Numero de barco,1)**"
- Al atributo "**Espera x nivel x barco**" el valor "**Espera x nivel x barco (Numero de barco,1)**"

Luego pasan por un modulo Write, donde se registra en un archivo txt toda la información y datos de los barcos que dejan el puerto.

13.3.8. Viaje y arribo a destino



Cuando un barco abandona el puerto comienza el viaje.

Para representar el viaje, se incluyo el modulo delay "**Viaje**" en el cual, en función del destino, se le asigna el tiempo de viaje que responde a una distribución de probabilidad normal con los siguientes parámetros medidos en dias:

Media: " Tiempo de viaje_Media (Destino,1)"

Desvío: " Tiempo de viaje_Desvio (Destino,1)"

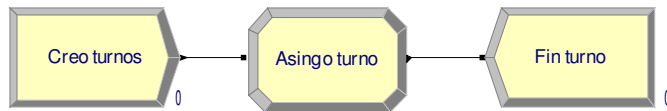
Cuando salen de este viaje, entran al assign "**Dia arribo destino**" donde se le asigna al atributo "**Arribo destino**" el valor "**dia**".

Luego pasan por un ultimo modulo Write donde se registran mas datos de los barcos en un archivo txt que incluyen el tiempo de viaje y finalmente abandonan el sistema a través del modulo dispose "**LLegada barcos a destino final**"

13.4. Circuitos generales del sistema

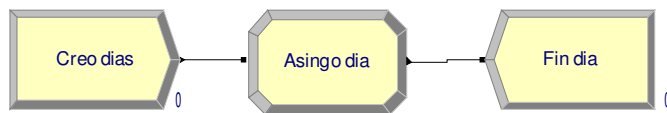
Se tienen además del circuito de ordenes y barcos, tres pequeños circuitos donde se generan ciertos valores generales del sistema que sirven de soporte para los dos circuitos mencionados.

En primer lugar se tiene el circuito de Turnos



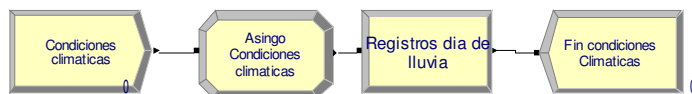
En este circuito, se tiene un modulo create que crea una entidad cada 4 hs, la cual pasando por el assign que esta a continuación actualiza la variable "Turno" con el valor "Turno +1" y sale del circuito a través del dispose.

En segundo lugar se tiene el circuito de días



En este circuito, se tiene un modulo create que crea una entidad cada 24 hs, la cual pasando por el assign que esta a continuación actualiza la variable "Dia" con el valor "Dia +1" y sale del circuito a través del dispose.

En tercer lugar se tiene el circuito del clima

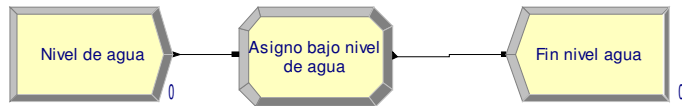


En este circuito, se tiene un modulo create que crea una entidad cada 3 hs, la cual pasando por el assign que esta a continuación actualiza la variable "Lluvia" con el valor "DISC(Probabilidad de lluvia, 1, 1,0)".

Esta expresión representa, que a partir del valor definido en la variable "Probabilidad de lluvia" se le asigna a la variable "Lluvia" el valor 1 o 0, representando que esta lloviendo o no respectivamente.

Luego, cada entidad pasa por un modulo Write de manera de registrar en un archivo txt el registro del estado del tiempo a lo largo de cada corrida y finalmente cada entidad y sale del circuito a través del dispose.

En cuarto y último lugar se tiene el circuito de bajo nivel de agua



En este circuito, se tiene un modulo create que crea una entidad cada 1 día, la cual pasando por el assign que esta a continuación actualiza la variable "Nivel agua bajo" el valor " DISC(Probabilidad de bajo nivel de agua, 1, 1, 0)"

Esta expresión representa, que a partir del valor definido en la variable " Probabilidad de bajo nivel de agua" se le asigna a la variable "Nivel agua bajo" el valor 1 o 0 representado que el nivel de agua para realizar la carga esta por debajo del nivel mínimo o no, respectivamente. Finalmente cada entidad y sale del circuito a través del dispose.

13.5. Output de datos

Como output de las corridas se van a tener los resultados que arroja el arena, es decir todos los reportes que arma con los resultados de las corridas y también se van a tener los archivos txt que se generaron con los módulos Write incluidos en los circuitos descriptos anteriormente.

Estos archivos txt son fácilmente importables a una planilla Excel para el análisis de los datos obtenidos.

En cada uno de estos módulos Write se debe especificar la ruta de acceso y el nombre del archivo donde se van a escribir los valores que se quiere medir.

Se debe tener en cuenta que cada vez que se corre el modelo, el programa escribe sobre el mismo archivo, de manera que se recomienda guardar la información generada en los archivos txt una vez finalizada una simulación para no perder los datos.

En estos módulos Write, se pueden definir todos los valores de atributos y variables que se quiera así como también identificar el numero de corrida y entidad al que corresponde cada valor.

Los módulos Write que se incluyeron en el modelo son:

Nombre del modulo	Descripción	Atributos que escribe
Ordenes a reprogramación comercial	Este modulo genera un registro en el archivo " Ordenes a reprogramar.txt" cada vez que a una orden se le debe reprogramar la producción	<ul style="list-style-type: none"> – N replica – Cliente – Destino – Barco asignado – Fecha de entrega – Fecha tardía comienzo prd – Peso de la orden

Ordenes embarque tercer	Este modulo genera un registro en el archivo "Ordenes embarque tercerizadas.txt" cada vez que a una orden se entrega en el puerto alternativo para tercerizar su embarque.	<ul style="list-style-type: none"> - N replica - Numero de orden - Cliente - Destino - PesoOrden - Barco Asignado - Tiempo de stock - Fecha Entrega - Fecha tardía comienzo prd - Fecha_fin_prd - Día real entrega orden - Día Reprocesamiento
Fin ordenes cargadas	Este modulo genera un registro en el archivo "Ordenes cargadas.txt" cada vez que a una orden es cargada en el barco correspondiente.	<ul style="list-style-type: none"> - N replica - NumOrden - Cliente - Destino - PesoOrden - Barco Asignado - Fecha_fin_prd - Fecha Entrega - Tiempo de stock - Dia finalizada carga - Cantidad carga con ritmo acelerado - Cantidad cargada con ritmo normal - Dia Reprocesamiento - Cantidad no cargada - Espera por nivel agua - Espera por lluvia
Partidabarcos	Este modulo genera un registro en el archivo "Partidabarcos.txt" cada vez que un barco parte del puerto rumbo a destino.	<ul style="list-style-type: none"> - N replica - Numero de barco - Destino - Carga del barco contratada - Carga que no lleva - Carga que lleva extra - Fecha tardia salida del puerto - Dia de arribo al puerto - Cantidad que lleva el barco

		<ul style="list-style-type: none"> – Dia planeado de llegada al puerto – Fecha partida barco – turno planeado salida puerto – Turno salida del puerto real – Espera por nivel agua – Espera por lluvia
Llegada barcos a destino	Este modulo genera un registro en el archivo "Finviajebarcos.txt" cada vez que un barco arriba en destino.	<ul style="list-style-type: none"> – N replica – Numero de barco – Destino – Carga del barco contratada – Carga que no lleva – Carga que lleva extra – Fecha tardia salida del puerto – Dia de arribo al puerto – Cantidad que lleva el barco – Dia planeado de llegada al puerto – Fecha partida barco – Arribo destino
Lluvia	Este modulo genera el archivo "lluvia.txt" donde se registra para por turno para cada día si llueve.	<ul style="list-style-type: none"> – N replica – N día – N turno – Lluvia

13.6. Modificaciones realizadas al template para utilizarlo como herramienta de medición

Uno de los objetivos que planteados en el proyecto es medir el potencial de mejora que puede aportar el template a un sistema cualquiera que lo adopte para simular su gestión.

Para medir este objetivo se plantea utilizar el mismo template como herramienta de medición, simulando el comportamiento del sistema previamente a la incorporación del template.

Para realizar esta simulación, se debe adaptar el template, utilizándolo para simular el funcionamiento de un sistema en un determinado estado inicial y luego utilizar el template tal cual se lo presenta para simular al mismo sistema a posteriori de la incorporación del template a su gestión.

Por lo tanto, a continuación se van a detallar las parametrizaciones que se le realizaron al template para poder utilizarlo como simulador del sistema en su estado inicial.

Las definiciones del funcionamiento del sistema previo a la incorporación del template se validaron con el Ing Julio García Velasco, referente del caso tomado como referencia.

- El criterio para ordenar las ordenes en la cola de producción no es el de ordenarlas por menor fecha de requerimiento en stock (fecha que a su vez esta determinada por el día planeado de comienzo de carga) sino que se establece un criterio de tipo FIFO en el que se las ordena por fecha en que la orden es creada.
- La decisión del momento en que un barco abandona el puerto queda exclusivamente determinada por la finalización de la carga que tenia planificada, es decir, ningún barco parte sin la totalidad de las ordenes que tenia asignadas.
- No se presenta la opción de variar el ritmo de carga en función de la diferencia que exista entre el nivel de carga actual y el nivel de carga previsto. El nivel de ritmo de carga varia únicamente cuando el barco presenta un atraso en el puerto mayor a 4 dias.

14. Anexo III

A continuación se pegan los archivos txt generados por la simulación.



"Archivos salida
Arena.zip"