

Modelo de negociación cooperativa del nivel de servicio de almacenes

Área temática: Gestión de Operaciones y Logística

Rittiner, Joaquín^{1*}; González, Mariana^{1*}; Fernández, Erica¹²; y Chiotti, Omar¹²

*1Departamento Ingeniería Industrial, Facultad Regional
Santa Fe, UTN, Argentina*

*Lavaise 610 (3000) – Santa Fe
2INGAR, Instituto de Desarrollo y Diseño (UTN-CONICET), Argentina
ericafernandez@ santafe-conicet.gov.ar
chiotti@santafe-conicet.gov.ar
marianasofiagonzalez@outlook.com.ar
joaquinrittiner@gmail.com*

RESUMEN

Debido a la incertidumbre propia de todo sistema productivo, los programas de abastecimiento y de distribución de las empresas que son parte de una cadena de suministro gestionada en forma integrada son generados con holguras para absorber el efecto de eventos disruptivos.

Ocurrido un evento disruptivo, dado que las holguras son consideradas un bien escaso, el intercambio de las mismas requiere de una adecuada negociación entre las empresas.

Este trabajo presenta un modelo de negociación de holguras de capacidad disponible de almacén el cual permite obtener una solución Pareto óptima que distribuye estas holguras para reparar un programa afectado por un evento disruptivo y reestructurar las capacidades disponible de almacenes de modo tal que todas las empresas que participan del proceso de negociación queden con el mismo nivel de servicio de almacenamiento.

El modelo se aplica a un caso de estudio, el cual muestra que, como resultado de la negociación, los programas de las empresas que participan de la negociación absorben en conjunto el efecto de la disrupción.

Palabras Claves: cadena de suministro; gestión de eventos disruptivos; proceso colaborativo; negociación de holguras.

ABSTRACT

Distribution and supply schedules of enterprises in a supply chain are generated with buffers (material, resource capacity, or time) due to the uncertainty of any production system. These buffers allow for absorbing the effect of disruptive events that might occur during schedules execution.

Once a disruptive event has occurred, as buffers are considered a scarce resource, they cannot be freely interchanged but through a proper negotiation.

This paper presents a model for negotiating buffers of Storage capacity available in a collaborative environment among enterprises in a supply chain. The model is based on a solution concept that allows defining negotiation rules to repair a supply program affected by a disruptive event. This solution concept is attained with a Pareto optimal solution that allows redistributing buffers of capacity. In this way all enterprises involved in negotiation have the same inventory service level.

The model is applied to a case study which reveals how negative effects of a disruptive event are distributed between supply programs as a result of negotiation.

Keywords: supply chain, disruptive event management, collaborative process, buffers negotiation

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En una cadena de suministro gestionada de forma integrada, los programas de abastecimiento y distribución se encuentran sincronizados [5]. Durante la ejecución pueden ocurrir eventos disruptivos generados por cambios en la especificación de una orden o en la capacidad planeada de los recursos que superan los valores previstos [1]. Como ejemplos de eventos disruptivos se pueden mencionar: la disminución de la cantidad de una orden, el retraso de una orden, o la rotura de una máquina.

La incertidumbre inherente en una cadena de suministro es reconocida por el paradigma de planificación robusta [3], el cual propone definir holguras de materiales, de capacidad y/o de tiempo para absorber cambios previstos que pueden tener lugar durante la ejecución de un programa. Dichas holguras permiten generar programas de abastecimiento/distribución robustos; esto es, con mayor probabilidad de permanecer estables durante su ejecución. Debido a la imposibilidad de predecir con certeza el tiempo, el lugar de ocurrencia y la magnitud de tales cambios, es posible que las holguras previstas en un programa no puedan absorber todas las variaciones, dando lugar a eventos disruptivos. Como consecuencia, es necesario ajustar el programa. Esto requiere compatibilizar dichos ajustes, con los demás programas de abastecimiento/distribución con los cuales está sincronizado, mediante un proceso de negociación entre las partes involucradas.

Como respuesta a este requerimiento surgieron los Sistemas de Información para la Gestión de Eventos de la Cadena de Suministro, conocidos por su sigla en inglés como sistemas SCEM (Supply Chain Event Management), [2]. Estas herramientas tecnológicas deben dar respuesta a los siguientes requerimientos funcionales: monitorear cambios en los programas en ejecución para capturar y anticipar la ocurrencia de un evento disruptivo, [1]; evaluar la factibilidad de un programa afectado por un evento disruptivo; y reparar el programa recurriendo al uso de las holguras del conjunto de programas de abastecimiento/distribución sincronizados.

Para dar respuesta a este último requerimiento funcional, el trabajo presenta un modelo para la negociación cooperativa de holguras de capacidad disponible de almacén en un entorno de gestión integrada de la cadena de suministro. En base a considerar que una disrupción en algún eslabón de la cadena afecta toda la cadena, el modelo plantea como uno de los objetivos de la gestión integrada de la cadena de suministro, intercambiar holguras entre los programas de abastecimiento y distribución a efectos de reparar un programa afectado por un evento disruptivo y reestructurar el nivel de servicio de almacén de las empresas participantes. Para atender este objetivo, el modelo permite obtener una solución Pareto óptima que ajusta los programas de abastecimiento/distribución distribuyendo las holguras de capacidad de almacén de modo tal que todas las empresas que participan del proceso de negociación queden con el mismo nivel de servicio de almacén.

2. METODOLOGÍA

A continuación se describe el proceso de negociación de holguras y luego se definen cada uno de los elementos que componen el modelo.

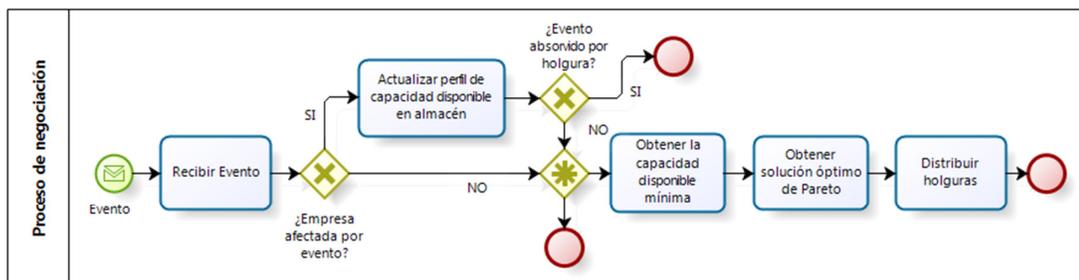
2.1. Modelo de negociación de holguras

A partir de los programas de abastecimiento/distribución sincronizados se puede generar el perfil de capacidad disponible de almacén de cada empresa. Durante la ejecución, cada programa debe ser monitoreado a efectos de detectar eventos disruptivos.

El proceso de negociación de holguras (Figura 1) comienza cuando una empresa detecta un cambio que afecta sus programas de abastecimiento/distribución. Para analizar el efecto de dicho cambio, la empresa debe proceder a actualizar el perfil de capacidad disponible de almacén. Suponiendo que el cambio produce una reducción de la capacidad disponible de almacén, la empresa analiza los valores mínimos del perfil de capacidad actualizado a efectos de verificar si se proyecta la ocurrencia de un faltante de capacidad de almacén (el inventario excederá la capacidad del almacén) en algún punto a lo largo del horizonte de tiempo planeado. Si esto no ocurre, significa que el cambio fue absorbido por la holgura (capacidad de seguridad de almacén) prevista en el programa, con lo cual los programas no resultan afectados (el cambio no generó un evento disruptivo) y por ende se puede continuar normalmente con la ejecución. En caso contrario, se proyecta un faltante de capacidad del almacén, lo cual indica que el cambio generó un evento disruptivo. Debido a ello, la empresa debe iniciar un proceso de negociación de holguras, lo cual implica negociar con los clientes el incremento de la cantidad de material correspondiente a alguna orden de despacho y/o negociar con los proveedores una reducción de la cantidad del material correspondiente a alguna orden de provisión, ambas órdenes deben corresponder a fechas previas a la del faltante proyectado.

Cada empresa que participa de la negociación, a partir del perfil, analiza el nivel mínimo de capacidad disponible de almacén proyectado en algún punto a lo largo del horizonte de tiempo planeado. Este valor es el que tomará como base para la negociación. Luego, el modelo propuesto busca una solución Pareto óptima que distribuye las holguras en cuestión de modo tal que todas las

empresas que participan del proceso de negociación queden con el mismo nivel de servicio de almacén.



Powered by
bizagi
Modeler

Figura 1 Proceso de negociación de holguras.

2.1.1 Elementos del modelo de negociación de holguras

- **Perfil de Capacidad Disponible de Almacén.**

El perfil de capacidad disponible de almacén es una proyección que cuantifica la disponibilidad de dicha capacidad a lo largo del horizonte de planificación. Se genera a partir de los programas de abastecimiento y de distribución de la empresa, los cuales se definen como:

PA (programa de abastecimiento): conjunto de órdenes de provisión de materiales desde proveedores que reducen la capacidad disponible de almacén.

PD (programa de distribución): conjunto de órdenes de despacho de materiales a clientes, que incrementan la capacidad disponible de almacén.

A los efectos del cálculo del perfil de capacidad disponible, una orden de provisión o de despacho se considera definida por dos atributos principales $O = \langle \text{cantidad}; \text{fecha} \rangle$.

En base a dichos programas, se obtiene:

t : transacción. Acontecimiento definido por el ingreso del material m al almacén o por la salida del mismo desde el almacén como consecuencia de una orden de provisión o de despacho respectivamente. La transacción t representa una fecha que se corresponde con el atributo *fecha* de la orden.

T : conjunto de transacciones generadas por el conjunto de órdenes de provisión y de despacho pertenecientes a los programas de abastecimiento y de distribución en ejecución.

D_t : disminución de la capacidad disponible de almacén debido a las unidades del material m que ingresan al almacén, que se corresponden con el atributo cantidad de la orden de provisión que define la transacción t .

A_t : aumento de la capacidad disponible de almacén producido por las unidades del material m que salen del almacén, que se corresponden con el atributo cantidad de la orden de despacho que define la transacción t .

K_{actual} : capacidad disponible de almacén actual para el material m .

K_t : capacidad disponible de almacén para el material m luego de la transacción t .

PK : perfil de capacidad disponible de almacén para el material m . Conjunto de valores de capacidad disponible de almacén proyectada K_t luego de la transacción t , correspondientes a toda transacción $t \in T$.

Un balance de la capacidad disponible de almacén permite calcular el perfil de capacidad disponible PK y la capacidad disponible mínima K_{min} correspondiente (Ecuación (1) y Ecuación (2)).

$$PK = (K_t / K_t = (K_{t-1} + A_t - D_t) \forall t \in T \text{ and } K_0 = K_{actual}) \quad (1)$$

$$K_{min} = \text{MIN}\{K_t\} \forall t \in T \quad (2)$$

- **Nivel de servicio de almacén**

El Nivel de Servicio de Almacén (NSA) se define como la probabilidad de no exceder la capacidad disponible de almacén durante el horizonte de planificación. Esto se puede definir como

la probabilidad de que la demanda d del material m durante el plazo de provisión no sea inferior a un cierto valor mínimo d_{MIN} (Ecuación (3)).

$$NSA = P(d \geq d_{MIN}) = F(d_{MIN}) \quad (3)$$

Si se considera que la demanda mínima durante el plazo de provisión será igual a la demanda media, esto es $d_{MIN} = d_{MED}$, para el caso de una función de densidad de distribución de probabilidad normal de la demanda, el nivel de servicio de almacén vendrá dado por la Ecuación (4):

$$NSA(d_{MED}) = P(d \geq d_{MED}) = 0,50 \quad (4)$$

Lo cual indica que se garantiza una probabilidad de no exceder la capacidad de almacén de 0,50, esto equivale a una capacidad disponible de almacén tal que el nivel de servicio de almacén es del 50%.

Para incrementar el nivel de servicio de almacén es necesario agregar un "buffer" de capacidad disponible (holgura), denominado Capacidad de Seguridad (KS). En el caso de utilizar un modelo de gestión de inventarios de revisión continua; con plazo de provisión constante; e ingreso instantáneo de la orden de abastecimiento, la capacidad de seguridad queda definida por la Ecuación (5), Russell et al. (1998).

$$KS = Z \times \sigma_d(d) \times \sqrt{L} \quad (5)$$

Donde:

Z : demanda normal tipificada, $N(0,1)$

σ_d : desvío de la demanda

L : plazo de provisión (constante)

Sin pérdida de generalidad, a efectos de simplificar la expresión, se supone que el plazo de provisión es de una unidad de tiempo ($L = 1$). Con esta simplificación, la capacidad de seguridad se calcula mediante la Ecuación (6). Luego, la demanda mínima vendrá dada por la Ecuación (7).

$$KS = Z \times \sigma_d(d) \quad (6)$$

$$d_{MIN} = d_{MED} - Z \times \sigma_d \quad (7)$$

La capacidad de seguridad (holgura) incrementa el nivel de servicio de almacén en un valor que dependerá del valor de Z , de modo que el mismo vendrá dado por la Ecuación (8).

$$NSA = P(d \geq d_{MIN}) = 1 - P(d \leq d_{MED} - Z \times \sigma_d) \geq 0,50 \forall 0 \leq Z \quad (8)$$

Operando algebraicamente sobre las Ecuación (6) y (7) se obtiene la Ecuación (9).

$$KS = d_{MED} - d_{MIN} = Z \times \sigma_d \quad (9)$$

De la Ecuación (8) es posible inferir que, definido un requerimiento de nivel de servicio de almacén superior al 50%, identificado como NSA^* , queda definido el valor de Z^* correspondiente. Luego, de la Ecuación (6) se obtiene la correspondiente capacidad de seguridad requerida, KS^* .

Dado un perfil de capacidad disponible PK , cuyo valor de K_{min} (Ecuación (2)) es $0 \leq K_{min} \leq K$, el nivel de servicio que proporciona dicho perfil de capacidad disponible vendrá dado por el valor Z_{min} definido por la Ecuación (10).

$$Z_{min} = \frac{K_{min}}{\sigma_d} \text{ siendo } 0 \leq Z_{min} \leq Z^* \quad (10)$$

Luego, reemplazando Z_{min} en la Ecuación (6) es posible calcular el nivel de servicio de almacén proporcionado por dicha capacidad mínima (Ecuación (11)).

$$NSA_{min} = P(d \geq d_{MED} - Z_{min} \times \sigma_d) \text{ siendo } 0 \leq NSA_{min} \leq NSA^* \quad (11)$$

NSA_{min} se define como el Nivel de Servicio del Perfil de Capacidad Disponible, $NSPK$. De este modo, el nivel de servicio de almacén asociado a un perfil de capacidad disponible vendrá dado por la Ecuación (12).

$$NSPK = \{NSA^* \text{ si } K_{min} > KS^*; P(d \geq d_{MED} - Z_{min} \times \sigma_d) \text{ si } 0 \leq K_{min} \leq KS^*; < 0,50 \text{ si } K_{min} < 0\} \quad (12)$$

• Solución Pareto óptima

Ocurrido un cambio que afecta el programa de abastecimiento o de distribución en ejecución de una empresa, si la K_{min} del perfil de capacidad disponible actualizado resulta negativo, esto implica la ocurrencia de un evento disruptivo.

Para reparar el programa afectado, el concepto de solución propuesto se basa en distribuir las capacidades de seguridad (holguras) de modo de maximizar el nivel de servicio de almacén de las empresas participantes.

Dicho concepto de solución se obtiene mediante una solución Pareto óptima que distribuye las capacidades de seguridad de modo tal que todas las empresas que participan del proceso de negociación queden con una capacidad de seguridad tal que les proporcione el mismo nivel de servicio de almacén. La solución se obtiene de resolver el modelo de optimización dado por la Ecuación (13):

$$\Delta K = \operatorname{argmax} (\min NS_j(K_{min_j}) \forall j \in J) \quad (13)$$

Donde:

ΔK = cantidad de unidades del material m a intercambiar para reparar el programa dañado reestructurando el nivel de servicio de los almacenes.

J = conjunto de empresas que participan del proceso de negociación. En este trabajo $J = 3$

$NSA_j(K_{min_j})$ = nivel de servicio de almacén de la empresa j

La cantidad de unidades del material m a intercambiar ΔK corresponde a una solución Pareto óptimo que establece que las empresas que participan de la negociación queden con el mismo nivel de servicio de almacén (Ecuación (14)).

$$NS_j(\Delta K) = NS_i(\Delta K) \forall i \neq j \quad \forall j \in J \quad (14)$$

De las Ecuaciones (9) y (14) se obtiene la Ecuación (15):

$$z_j(\Delta K) = z_i(\Delta K) \quad (15)$$

Siendo

$$\Delta K_i = \sum \Delta K_j \quad \forall j \in J, J = \{1,2,3\}, i \neq j \quad (16)$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para verificar el modelo de negociación propuesto se presenta un caso estudiado que corresponde a tres empresas que integran una cadena de suministro, referidas en este trabajo como Proveedor, Distribuidor A y Distribuidor B (Figura 2). Los distribuidores utilizan un programa de ventas anticipadas con lo cual pueden conocer previamente la cantidad ordenada y programar el despacho semanal de la mercadería que se distribuye en diferentes zonas geográficas en los diferentes días de la semana laboral. En base a esta información, mediante un proceso de gestión integrada, las empresas sincronizan sus programas semanales de abastecimiento y distribución.

El Proveedor produce jugos en envases "tetra brik" de 250ml que comercializa en "packs" de 24 unidades. Actualmente, opera un solo turno diario de lunes a viernes en el que produce 3000 "packs". Los despachos de la mercadería se realizan a primera hora del día y son recibidos por los distribuidores en el mismo día. Aproximadamente el 60% de la producción diaria es despachada al Distribuidor A y el 40% al Distribuidor B. El transporte está a cargo de una tercer empresa. El desvío estándar de la demanda calculado a partir de los desvíos de las empresas distribuidoras en base a sus respectivas demandas es $\sigma_p = 562$ "packs" diarios, la capacidad de seguridad $KS = 1000$ y la capacidad máxima $K_{max} = 4500$.

El Distribuidor A comercializa los "packs" de jugos operando de lunes a viernes en horario corrido. Aproximadamente el 70% de los jugos que distribuye son provistos por el Proveedor, mientras que un 30% son provistos por un segundo productor, el cual no participa del proceso de gestión integrada de la cadena de suministro conformada por el Proveedor y los Distribuidores A y B. La mercadería es recibida de lunes a viernes en horas de la tarde, luego del despacho diario a

clientes. Generalmente recibe en primer lugar la mercadería despachada por el Proveedor. El desvío estándar de la demanda es $\sigma_d = 476$ “packs” diarios, la capacidad de seguridad es $KS = 800$ y la capacidad máxima $K_{max} = 4000$.

El Distribuidor B es un distribuidor exclusivo del Proveedor, y comercializa los “packs” de juegos operando de lunes a viernes en horario comercial. La mercadería es recibida todos los días al final de la tarde, para atender la demanda del próximo día laborable. El desvío estándar de la demanda calculado es $\sigma_d = 298$ “packs” diarios, la capacidad de seguridad $KS = 500$ y la capacidad máxima $K_{max} = 2500$.

Como parte del proceso de gestión integrada, las empresas acordaron generar los programas de abastecimiento y distribución con un nivel de servicio de almacén del 95,3 % lo cual equivale a un valor de $Z = 1,68$.

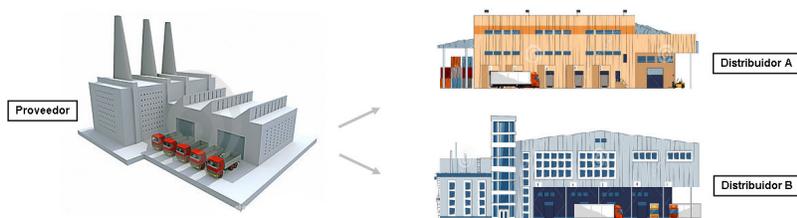


Figura 2 Cadena de suministro del caso de estudio.

3.1. Escenario Inicial

A partir de las órdenes de provisión y despacho definidas en los programas de abastecimiento y de distribución del Proveedor, Distribuidor A y Distribuidor B, se identifica el conjunto de transacciones $t \in T$, los aumentos A_t y disminuciones D_t que definen dichas transacciones y el conjunto de las capacidad disponibles proyectadas en almacén luego de cada transacción T_t que define el perfil de capacidad de almacén PK de cada empresa (Tabla 1).

En la Tabla 1 se presentan los programas de abastecimiento y distribución para 5 días de trabajo. Como se observa en la misma, el programa de producción (abastecimiento) del Proveedor es de 3000 “packs” diarios, los cuales son ingresados al almacén al final de la jornada de trabajo, mientras que los despachos a los Distribuidores A y B definidos en el programa de distribución, tienen lugar a primera hora del día. Si se analiza el Proveedor se observa que, por ejemplo, en el día 1, la transacción $t = 1$ es producida por el despacho al Distribuidor A; la $t = 2$, por el despacho al distribuidor B; y la $t = 3$, por el ingreso a almacén de la producción del día.

En el caso del Distribuidor A, para el mismo día 1, la primer transacción $t = 1$ es generada por el despacho de las órdenes comprometidas a clientes; mientras que la $t = 2$, por la entrada de la mercadería despachada por el Proveedor el mismo día; y la $t = 3$ por la entrada de mercadería provista por la empresa que no participa del proceso de gestión integrada de la cadena de suministro.

En el caso del Distribuidor B, para el mismo día 1, la primer transacción $t = 1$ es generada por el despacho de las órdenes comprometidas a clientes; y la $t = 2$ por el ingreso a almacén de la mercadería despachada por el Proveedor el mismo día.

Tabla 1 Lista de transacciones, aumentos, disminuciones y capacidad para el Proveedor y Distribuidores.

T (día)	PROVEEDOR				DISTRIBUIDOR A				DISTRIBUIDOR B			
	t transacción	Dt disminución	At aumento	PK={kt} cap disponible	t transacción	Dt disminución	At aumento	PK={kt} cap disponible	t transacción	Dt disminución	At aumento	PK={kt} cap disponible
Kactual				1050				300				700
1	1		1800	2850	1		2550	3450	1		1100	1800
	2		1200	4050	2	1800		1650	2	1200		600
	3	3000		1050	3	700		350	3			600
2	4		1860	2310	4		2500	3450	4		1150	1750
	5		1240	4150	5	1860		1530	5	1240		510
	6	3000		1150	6	700		830	6			510
3	7		1800	2350	7		2450	3340	7		1200	1710
	8		1200	4150	8	1800		1540	8	1200		510
	9	3000		1150	9	700		840	9			510
4	10		1800	2350	10		2600	3440	10		1200	1710
	11		1200	4150	11	1800		1640	11	1200		510
	12	3000		1150	12	600		1040	12			510
5	13		1740	2830	13		2200	3240	13		1200	1710
	14		1160	4050	14	1740		1500	14	1160		550
	15	3000		1050	15	700		800	15			550

Las Figuras 3, 4 y 5 presentan el perfil de capacidad disponible de almacén para “packs” de juego, correspondiente a Proveedor, Distribuidor A y Distribuidor B respectivamente. Dichos perfiles fueron generados a partir de los programas de abastecimiento y distribución de la Tabla 1.

Como se puede observar, los programas de las tres empresas son factibles ya que la capacidad disponible en almacén proyectada se mantiene en el rango de valores definidos por la capacidad de seguridad KS y la capacidad máxima K_{max} .

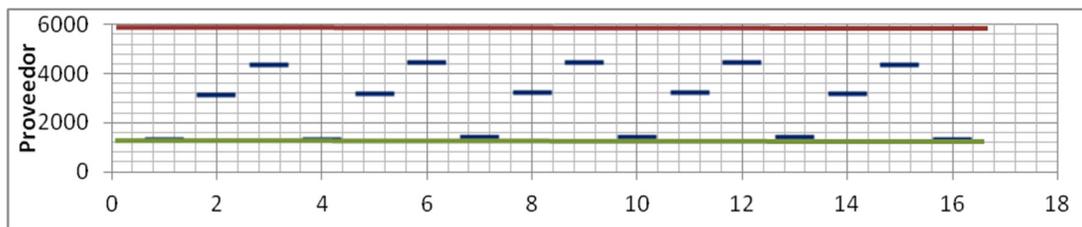


Figura 3 Perfil de capacidad disponible de “packs” para el Proveedor

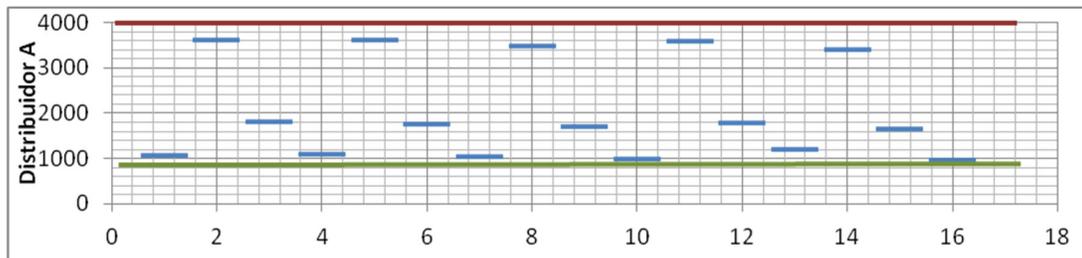


Figura 4 Perfil de capacidad disponible de “packs” para el Distribuidor A

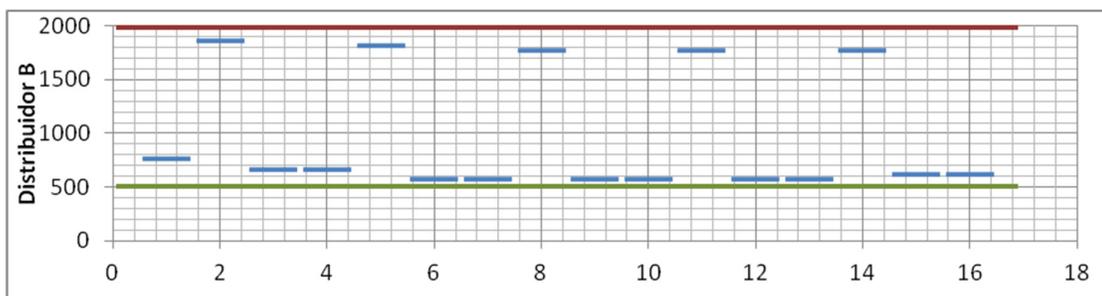


Figura 5 Perfil de capacidad disponible de “packs” para el Distribuidor B

3.2. Escenario de interrupción

Iniciada la ejecución de los programas de abastecimiento y distribución, el día 1 los Distribuidores A y B reciben cancelaciones de órdenes de parte de sus clientes para el día 2 por 1500 y 250 “packs” respectivamente. En la Tabla 2 se pueden observar las fluctuaciones de la capacidad de almacén proyectada de ambos distribuidores luego de las cancelaciones.

La reducción en la demanda programada para el día 2 produce, en primer lugar, el consumo de parte del “buffer” de capacidad de almacén del Distribuidor B; y en segundo lugar, la capacidad disponible de almacén proyectada del Distribuidor A es sobrepasada a partir del día 2 (valores negativos). Este evento disruptivo genera la necesidad de una negociación entre Proveedor y ambos Distribuidores para modificar las órdenes de despacho con el objetivo de cooperar con el Distribuidor A cuyo programa de abastecimiento resulta no factible a partir del día 2.

Bajo este escenario, el Distribuidor A inicia un proceso de negociación con el Proveedor y el Distribuidor B a efectos de acordar una modificación del programa de abastecimiento. Esto implica recurrir a la capacidad de seguridad KS del Proveedor y el Distribuidor B para reparar el programa afectado, lo cual conceptualmente equivale a una reasignación de las capacidades de seguridad KS (holguras) del Proveedor y el Distribuidor B.

Mediante las Ecuaciones (1) y (2) se genera el perfil de capacidad disponible de almacén y se determina el valor de capacidad mínima en el almacén del Distribuidor A luego de la ocurrencia del evento disruptivo. $K_{\min dA} = -700$. En la Tabla 2 se observa que este valor corresponde al día 5, transacción $t = 15$. También se genera el perfil de capacidad disponible y se determina el valor de capacidad mínima para el almacén del Proveedor, $K_{\min P} = 1050$ y del Distribuidor B, $K_{\min dB} = 260$.

Tabla 2 Transacciones, aumentos, disminuciones y capacidad disponible proyectada luego del evento correspondiente al Proveedor y Distribuidores.

T (día)	PROVEEDOR				DISTRIBUIDOR A				DISTRIBUIDOR B			
	t transacción	Dt disminución	At aumento	PK={kt} cap disponible	t transacción	Dt disminución	At aumento	PK={kt} cap disponible	t transacción	Dt disminución	At aumento	PK={kt} cap disponible
kactual				1050				900				700
1	1		1800	2850	1		2550	3450	1		1100	1800
	2		1200	4050	2	1800		1650	2	1200		600
	3	3000			1050	3	700		950	3		
2	4		1860	2910	4		1000	1950	4		900	1500
	5		1240	4150	5	1860		90	5	1240		260
	6	3000			1150	6	700		-610	6		
3	7		1800	2950	7		2450	1840	7		1200	1460
	8		1200	4150	8	1800		40	8	1200		260
	9	3000			1150	9	700		-660	9		
4	10		1800	2950	10		2600	1940	10		1200	1460
	11		1200	4150	11	1800		140	11	1200		260
	12	3000			1150	12	600		-460	12		
5	13		1740	2890	13		2200	1740	13		1200	1460
	14		1160	4050	14	1740		0	14	1160		300
	15	3000			1050	15	700		-700	15		

Operando algebraicamente las Ecuaciones (13), (14) y (15), se obtiene la siguiente solución Pareto óptima:

$$\Delta K_P = \frac{K_{\min P} \times (\sigma_{dA} + \sigma_{dB}) - K_{\min dA} \times \sigma_P - K_{\min dB} \times \sigma_{dA}}{\sigma_P + \sigma_{dA} + \sigma_{dB}} = 794 \text{ packs de jugos}$$

$$\Delta K_{dB} = \frac{K_{\min dB} \times \sigma_A - K_{\min dA} \times \sigma_{dB} - \Delta K_P \times \sigma_{dB}}{\sigma_{dA} + \sigma_{dB}} = 124 \text{ packs de jugos}$$

El resultado indica que el Proveedor podrá disminuir la orden de despacho correspondiente al Distribuidor A para el día 2 en $794 + 124 = 918$ “packs”, a su vez incrementará la orden de despacho correspondiente al Distribuidor B en 124 “packs”. Esto permitirá al Distribuidor A reparar su programa de abastecimiento incrementando su capacidad mínima $K_{\min dA} = 918 - 700 = 218$ “packs”, de modo que su programa de abastecimiento vuelva a ser factible, y también recuperar parte de su capacidad de seguridad KS.

3.3. Escenario de reparación

Para reparar los efectos del evento disruptivo descrito anteriormente, el Proveedor realiza un ajuste en su programa de abastecimiento al Distribuidor A disminuyendo la orden del día 2 en 918 “packs”, la cual queda con un valor de 942 “packs”, además incrementa la orden de abastecimiento para el Distribuidor B correspondiente a ese mismo día en 124 packs, quedando en 1364 “packs”.

La Tabla 3 muestra que los perfiles de capacidad disponible de almacén para las tres empresas, luego del ajuste, son nuevamente factibles. Como resultado del ajuste del programa de abastecimiento, la capacidad disponible de almacén del Distribuidor A se incrementará en 918 unidades, incrementando la capacidad disponible mínima, $K_{\min dA} = 918 - 700 = 218$ “packs”. El nivel de servicio de almacén proporcionado por esta capacidad mínima se calcula mediante la Ecuación (6) y es de 88% (probabilidad de no exceder la capacidad disponible de almacén).

La capacidad disponible de almacén del Proveedor se reducirá en 794 “packs”, reduciendo la capacidad mínima $K_{\min p} = 1050 - 794 = 256$ “packs”, la que proporciona también un nivel de servicio de almacén del 88 %.

La capacidad disponible de almacén del Distribuidor B se reducirá en 124 “packs”, quedando su capacidad mínima $K_{\min dB} = 260 - 124 = 136$ “packs”, la que proporciona también un nivel de servicio de almacén del 88 %.

Como resultado de la negociación, el Distribuidor A soluciona su problema de falta de capacidad disponible de almacén para el día 2 y los restantes días de la semana, recuperando parte de su capacidad de seguridad. Esto muestra que el proceso de negociación es cooperativo. Es decir, a pesar que el Proveedor y el Distribuidor B no se vieron afectados directamente por el evento disruptivo, aceptaron la reasignación de capacidad para reparar la disrupción y mejorar el nivel de servicio del almacén del Distribuidor A. La solución Pareto óptima obtenida reduce el nivel de almacén de los participantes de la cadena de suministro no afectados para que las tres empresas que integran la misma equilibren el nivel de servicio de almacén a un valor del 88%.

Tabla 3 Transacciones, entradas, salidas e inventarios proyectados luego del ajuste.

T (día)	PROVEEDOR				DISTRIBUIDOR A				DISTRIBUIDOR B			
	t transacción	Dt disminución	At aumento	PK={kt} cap disponible	t transacción	Dt disminución	At aumento	PK={kt} cap disponible	t transacción	Dt disminución	At aumento	PK={kt} cap disponible
kactual				1050				300				700
1	1		1800	2850	1		2550	3450	1		1100	1800
	2		1200	4050	2	1800		1650	2	1200		600
	3	3000		1050	3	700		950	3			600
2	4		942	1992	4		1000	1950	4		900	1500
	5		1364	3356	5	942		1008	5	1364		136
	6	3000		356	6	700		308	6			136
3	7		1800	2156	7		2450	2758	7		1200	1336
	8		1200	3356	8	1800		958	8	1200		136
	9	3000		356	9	700		258	9			136
4	10		1800	2156	10		2600	2858	10		1200	1336
	11		1200	3356	11	1800		1058	11	1200		136
	12	3000		356	12	600		458	12			136
5	13		1740	2096	13		2200	2658	13		1200	1336
	14		1160	3256	14	1740		918	14	1160		176
	15	3000		256	15	700		218	15			176

4. CONCLUSIONES

El modelo de negociación de holguras presentado muestra que luego de la ocurrencia de un evento disruptivo, un programa de abastecimiento puede ser reparado utilizando las holguras de capacidad, evitando la necesidad de generar nuevamente los programas de abastecimiento y distribución. Para hacer frente a la variación producida, las empresas que participan del proceso de gestión integrada de la cadena de suministros ajustan la cantidad de algunos órdenes de despacho a efectos de reparar la disrupción y reestructurar el nivel de servicio de los almacenes, lo cual conceptualmente equivale a intercambiar holguras de capacidad disponible de almacén con el fin de restablecer el equilibrio. La solución de Pareto obtenida especifica la cantidad en que deben ser ajustadas las órdenes para que todas las empresas equilibren el nivel de servicio de sus almacenes.

El modelo propuesto no está pensado para servir de soporte a una negociación entre personas (aunque podrían usarlo si lo consideran conveniente), sino para automatizar el proceso de negociación de holguras, por ejemplo mediante un sistema multi-agentes. Los agentes de software

podrían implementar dicho modelo para llevar a cabo el proceso de negociación sin la necesidad de intervención humana.

Como trabajo futuro se pretende extender el modelo para la negociación de otros tipos de holguras, como tiempo (ventana de tiempo para adelantar o atrasar una orden), y también para involucrar un número mayor de participantes de la cadena de suministro en la negociación. Por otra parte, se está trabajando en el desarrollo de nuevos criterios de reparación.

5. REFERENCIAS

[1]Fernández E.; Salomone E.; Chiotti O. (2012). A model driven development approach based on a reference model for predicting disruptive events in a supply process. *Computers in Industry*, vol.63, pp. 482–499.

[2]Guarnaschelli A., Fernández E., Chiotti O., Salomone E.(2013). A Service-Oriented Approach to Collaborative Management of Disruptive Events in Supply Chains. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, vol. 144, no. 1, pp, 223-242.

[3]Landeghem V., and Vanmaele H.(2002). Robust programaning: a new paradigm for demand chain programaning, *Journal of Operations Management*, vol. 20, pp.769–783.

[4]Russell R., Taylor B. (1998). *Operations Management. Focusing on Quality and Competitiveness*. Prentice Hall, Inc.

[5]Soosay C., Hyland P. and Ferrer M. (2008). Supply chain collaboration: Capabilities for continuous innovation, *Supply Chain Management*, vol. 13, no. 2, pp. 160-169.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer el apoyo y el financiamiento de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, de las actividades de investigación y desarrollo realizadas en el marco del proyecto “Modelos de negociación de holguras para reparar un programa de abastecimiento en ejecución”.