

Modelado de una Red de Suministro del Sector Cerámico: Un enfoque de Determinista⁸³

Nicolay Mena O'Meara¹, Eduardo Vicens Salort², Francisco-Cruz Lario³

¹ Centro de Investigación Gestión e Ingeniería de la Producción (CIGIP). UPV. Camino de Vera s/n, Edificio 8G.-Esc 4-Nivel 1. Valencia. nimeom@doctor.upv.es

² Centro de Investigación Gestión e Ingeniería de la Producción (CIGIP). UPV. Camino de Vera s/n, Edificio 8G.-Esc 4-Nivel 4. Valencia. evicens@omp.upv.es

³ Centro de Investigación Gestión e Ingeniería de la Producción (CIGIP). UPV. Camino de Vera s/n, Edificio 8G.-Esc 4-Nivel 4. Valencia. fclarior@omp.upv.es

Resumen

Este artículo consiste en desarrollar un modelo determinista que pueda predecir y comparar los resultados de diversas estrategias y decisiones. El objetivo es ayudar a los responsables a determinar su política y actuaciones en forma científica. Se formula el modelo matemático determinista para maximizar los márgenes de las diferentes empresas pertenecientes a una Red de Suministro que abarca proveedores, fábricas, centros de distribución y detallistas o mercados. Este modelo de planificación de la producción es multi-producto, multi-etapa y multi-periodo para cumplir con el objetivo de maximización del beneficio de cada participante de la RS y asegurar una distribución justa de los márgenes.

Palabras clave: Modelado, Planificación de la Producción, Red de Suministro

1. Introducción

En la Red de Suministro (RS) hay una serie de actividades y organizaciones por las cuales los materiales fluyen aguas abajo desde los proveedores iniciales hasta los clientes de finales. La RS está ligada a muchas restricciones de la Industria por lo cual tiene muchos problemas de toma de decisiones. Los modelos para la toma de decisiones se pueden clasificar en dos categorías: modelos deterministas y modelos con incertidumbre. En los modelos deterministas, las buenas decisiones se basan en sus buenos resultados. Se consigue lo deseado de manera “determinística”, es decir, libre de riesgo. Esto depende de la influencia que puedan tener los factores no controlables en la determinación de los resultados de una decisión, y también depende de la cantidad de información que el decisor tiene para controlar dichos factores.

Lo que se pretende con el modelo al que se quiere llegar en una futura comunicación es maximizar los márgenes de una RS con incertidumbre. Teniendo en cuenta los parámetros cuya variación afectan más los resultados de las etapas de la RS se pretende usar los métodos de inteligencia artificial (redes neuronales y algoritmos genéticos).

⁸³ Este trabajo proviene de la participación de los autores en el proyecto de investigación de “Metodología Jerárquica en Contexto de Incertidumbre en la Planificación Colaborativa de la Cadena/Red de Suministro-Distribución. Aplicación al Sector Cerámico” (DPI2004-06916-CO2-01).

En este artículo se formula un modelo matemático determinista a partir de los planteamientos identificados por Mena et al. (2008). Las bases para este modelo matemático determinista son tomadas de Chen, L.C. y Lee, W.C. (2004). Todo esto para maximizar los márgenes de las diferentes empresas pertenecientes a una Red de Suministro que abarca proveedores, fábricas, centros de distribución y detallistas o mercados. Este modelo de planificación de la producción es multi-producto, multi-etapa y multi-periodo para cumplir con el objetivo de maximización del beneficio de cada participante de la RS y asegurar una distribución justa de los márgenes.

El modelo está formulado como un problema de programación no lineal entera mixta, el cual se pretende resolver utilizando MPL y CPLEX.

Este artículo se subdivide en tres secciones que abarcan: Modelo Determinista de un Sistema de Producción de la Cadena de Suministro: Situación del Problema y Nomenclatura (Apartado 2), Modelado Matemático de un Sistema de Planificación de la RS: Función Objetivo, Formulación de Costes e Ingresos y Restricciones (Apartado 3), y Conclusiones (apartado 4).

2. Modelo Determinista de un Sistema de Producción de la Cadena de Suministro.

2.1. Situación del Problema

Los sistemas de producción en la RS se pueden definir como la aplicación de métodos científicos en la mejora de la efectividad en las operaciones, decisiones y gestión (Robinson, 1999).

La principal característica consiste en construir un modelo científico del sistema que pueda predecir y comparar los resultados de diversas estrategias y decisiones. El objetivo es ayudar a los responsables a determinar su política y actuaciones en forma científica.

Para planificar el problema de Gestión de Red de Suministro se pretende usar un modelo determinista de optimización con el objetivo de maximizar márgenes para los proveedores, producción, distribución y detallistas.

2.1.1. Datos necesarios

En este ítem lo que se pretende es mostrar al máximo los datos que se han de conocer para poder llegar al modelo deseado, dando aquí un gran abanico de posibilidades para poder desarrollar el modelo determinista.

- Datos de fabricación, en un tiempo regular y con horas extras.
- Los datos de transporte, como tiempos y capacidad de transporte.
- Datos de inventario, como capacidad de inventario, inventario de seguridad, etc.
- Cada parámetro de coste, como fabricación, inventario, etc.
- Demanda del producto (pronóstico).

2.1.2. Variables a determinar

- Plan de transporte desde cada Proveedor a cada Planta.
- Plan de entregas desde el Proveedor.
- Plan de producción de cada Planta.
- Plan de Distribución.
- Plan de transporte de Planta-Almacén Central, Almacén Central-Distribuidor.

- Cantidad de ventas de cada de la RS.
- Nivel de inventario de cada empresa.
- Todos los costes totales.

2.1.3. Objetivo

- El objetivo es integrar las decisiones en cada nodo de cada etapa
- Garantizar la Maximización de los márgenes de todas las entidades de la Red de Suministro (Ingresos-Costes).

2.2. Nomenclatura

Índices / Conjunto

Índices / Conjunto	Significado
$i \in I$	Productos
$f \in F$	Familias
$g \in G$	Provedores
$p \in P$	Plantas
$j \in J$	Recursos de Producción
$d \in D$	Centros de Distribución
$r \in R$	Detallistas
$c \in C$	Clientes
$k \in K$	Volumen de capacidad transporte desde d a r , p a d y g a p
$n \in N$	Contador de horas extras de fabricación
$t \in T$	Períodos

Datos Proveedor

Datos Proveedor	Significado
CFT_{kgp}	Coste Fijo de Transporte desde g a p en k
CUT_{kgp}	Coste por Unidad de Transporte desde g a p en k
CUI_{ix}	Coste por Unidad de Inventario en x para i donde $x = \{g, p, d, r\}$
CUM_{ix}	Coste por Unidad de Manutención en x para i donde $x = \{g, p, d, r\}$
CUP_{ig}	Coste por Unidad de producto de i en g
PUP_{igp}	Precio de la Unidad del Producto i en desde g a p
LM_i	Lista de materiales para producir el producto i
NCT_{kgp}	Nivel de Capacidad de Transporte k desde g a p
MCI_g	Máxima Capacidad de Inventario en g
TET_{gp}	Tiempo de Transporte desde g hasta p

Datos Planta

Datos Planta	Significado
CFF_{jp}	Coste fijo por familia elaborado en j en p
CFO_{ijp}	Coste fijo ocioso en j en p para i
CFC_{ijp}	Coste Fijo de Cambio de partida en j en p para i
CUS_{ijp}	Coste por unidad subcontratada en j en p para i
CFS_{ijp}	Coste Fijo de Subcontratación en j en p para i
CFT_{kpd}	Coste Fijo de Transporte de k desde p a d para i
$CUFE_{ijp}$	Coste por Unidad de Fabricación en tiempo Extra en j en p para i

CUT_{kpd}	Coste por Unidad de Transporte desde en k de p a d
CUF_{ijp}	Coste por Unidad de Fabricación en j en p para i
PUP_{ipd}	Precio de la Unidad del Producto i desde p a d
LP_{ijp}	Lote de Producción en j en p para i
$CMET_p$	Capacidad Máxima de Entrada de Transporte en p (Este dato es para la restricción de Capacidad Máxima para la cantidad Total de Transporte desde el Proveedor g hasta la Planta p)
MCI_p	Máxima Capacidad de Inventario en p
NCT_{kpd}	Nivel de Capacidad de Transporte k desde p a d
PQS_{ip}	Porcentaje para definir la Cantidad a Subcontratar a partir de la cantidad a Fabricar del Producto i
QFE_{ijp}	Cantidad Fija de Fabricación en Tiempo Extra en p para i
TET_{pd}	Tiempo de Transporte desde p hasta d
$MQFN_{jpt}$	Máxima cantidad de fabricación en tiempo regular de j en p en t .
$MQFE_{jpt}$	Máxima cantidad de fabricación en tiempo extra de j en p en t .
MPE_p	Máximo Periodo de horas Extras en la Planta p
$MFQP_{fjp}$	Mínima cantidad de fabricación por familia f en j en p
ρ_{if}	Parámetro que indica si i pertenece a la familia f

Distribuidor y Detallista

CFT_{kdr}	Coste Fijo de Transporte desde d a r en k
CUT_{kdr}	Coste por Unidad de Transporte desde d a r en k
CDD_{id}	Coste de Diferir en una unidad la demanda de i de d en t a $t+1$
CDD_{ir}	Coste de Diferir en una unidad la demanda de i de r en t a $t+1$
PUP_{is}	Precio de la Unidad del Producto i en s , donde $s = \{gp, pd, dr, rc\}$
MCI_h	Máxima Capacidad de Inventario según la Etapa de la CdS (Distribuidor d y Detallista r); donde $h = \{p, d, r\}$
$CMET_d$	Capacidad Máxima de Entrada de Transporte en d (Este dato es para las restricción de Capacidad Máxima para la cantidad Total de Transporte desde la Planta p al Distribuidor d)
$CMST_d$	Capacidad Máxima de Salida de Transporte en d (Este dato es para las restricción de Capacidad Máxima para la cantidad Total de Transporte desde el Distribuidor d al Detallista r)
PDC_{irt}	Pronóstico de la Demanda del Cliente en r para i en t
NCT_{kdr}	Nivel de Capacidad de Transporte k desde d a r
TET_{dr}	Tiempo de Transporte desde d hasta r

Variables binarias

Y_{kdr}	Función que toma el valor de 1 si $QT_{dr} > 0$, y 0 para los demás casos. Nivel de Capacidad de Transporte desde d a r en t en k
Y_{kpd}	Función que toma el valor de 1 si $QT_{pd} > 0$, y 0 para los demás casos. Nivel de Capacidad de Transporte desde p a d en t en k
Y_{kgpt}	Función que toma el valor de 1 si $QT_{gp} > 0$, y 0 para los demás casos. Nivel de Capacidad de Transporte desde g a p en t en k .

α_{ijpt}	Función que toma el valor de 1 cuando se produce un lote fabricación en Tiempo Regular en i, j, p, t , y 0 para los demás casos.
β_{ijpt}	Función que toma el valor de 1 si prepara j de p para producir un lote i en t y 0 para los demás casos.
γ_{ipt}	Función que toma el valor de 1 si hay cambio de i en j de p desde $t-1$ hasta t , y 0 para los demás casos.
σ_{ijpt}	Función que toma el valor de 1 si se producen horas extras de i en j de p en t , y 0 para los demás casos.
λ_{ipt}	Función que toma el valor de 1 si $QS_{ip} > 0$, y 0 para los demás casos.
w_{fjpt}	Numero binario que indica si la familia f es fabricada en j, p, t

Variables reales

	Significado
B_{irt}	Nivel de Demanda Aplazada al Final de t para r del producto i .
QDD_{idt}	Cantidad de demanda diferida de d para i en el Periodo t
QDD_{irt}	Cantidad de demanda diferida de r para i en el Periodo t
NI_{iht}	Nivel de Inventario en el Periodo t según la Etapa de la CdS (Planta “ p ”, Distribuidor “ d ” y Detallista “ r ”) para el Producto i ; donde $h = \{p, d, r\}$.
QS_{ipt}	cantidad a Subcontratar en t en p del Producto i .
VP_{xt}	Ventas del Producto i en x en el periodo t , donde $x = \{g, p, d, r\}$
QV_{ist}	Cantidad de Ventas de i en s en el periodo t , donde $s = \{gp, pd, dr, rc\}$
QP_{ipt}	Cantidad a producir del producto i en p en el período t
FLP_{ijpt}	Cantidad a producir una familia en j para la planta p en el período t para i
CTI_{xt}	Coste total del inventario en x y t , donde $x = \{g, p, d, r\}$
CTM_{xt}	Coste total de Manutención en x y t , donde $x = \{g, p, d, r\}$
CTF_{pt}	Coste total de fabricación en la planta p en el periodo t
CTS_{pt}	Coste total de Subcontratación en la planta p en el periodo t
CTC_{xt}	Coste total de compras en x y t , donde $x = \{g, p, d, r\}$
$QT_{kdr,t}$	Cantidad de transporte en k desde d a r en t
$QT_{kpd,t}$	Cantidad de transporte en k desde p a d en t
$QT_{kgs,t}$	Cantidad de transporte en k desde g a p en t
QT_{ut}	Cantidad Total de Transporte de u en el período t ; donde $u = \{gp, pd$ y $dr\}$
$CTT_{\tilde{n}t}$	Coste total de transpote \tilde{n} en t ; donde $\tilde{n} = \{g, p, d\}$
Z_{xt}	Margenes esperados para toda la RS.

3. Modelado Matemático de un Sistema de Planificación de la RS

3.1. Función Objetivo

Las ecuaciones 1, 2, 3, 4 y 5 son la maximización de márgenes esperados para los participantes de la Red. En vez de llevar al máximo el beneficio de toda la Red De Suministro, se piensa en la distribución de beneficio a todos miembros dentro de la planificación en períodos. Los márgenes para todos los participantes son llevados al máximo considerándolos separadamente, donde el beneficio es igual a las ventas del producto menos todas clases de coste.

$$Z_g = \sum_t [VP_{gt} - CTT_{gt} - CTC_{gt} - CTM_{gt}], \forall g \quad (1)$$

$$Z_p = \sum_t [VP_{pt} - CTC_{pt} - CTF_{pt} - CTT_{pt} - CTI_{pt} - CTM_{pt} - CTS_{pt}], \forall p \quad (2)$$

$$Z_d = \sum_t [VP_{dt} - CTC_{dt} - CTT_{dt} - CTI_{dt} - CTM_{dt}], \forall d \quad (3)$$

$$Z_r = \sum_t [VP_{rt} - CTC_{rt} - CTM_{rt} - CTI_{rt}], \forall r \quad (4)$$

$$Z_T = Z_g + Z_p + Z_d + Z_r \quad (5)$$

3.2. Formulación de Costes e Ingresos

3.2.1. Coste total de Fabricación en cada planta del producto i

La ecuación 6 corresponde al cálculo del coste total de Fabricación obtenido por la suma de: coste fijo de fabricación de cambio de partida, coste fijo de ociosidad, coste de fabricación en horario regular y coste fijo de fabricación en horario extra.

$$CTF_{pt} = \sum_f \sum_j \sum_t CFF_{fjp} w_{fjpt} + \sum_i \sum_j \sum_t [CFC_{ipj} \gamma_{ipjt} + CFO_{ipj} (\beta_{ipjt} - \alpha_{ipjt}) + CUF_{ipj} LP_{ipj} \alpha_{ipjt} + CUF_{ipj} QFE_{ipj} \sigma_{ipjt}], \forall p \quad (6)$$

3.2.2. Coste Total de Subcontratación

La ecuación 7 corresponde al cálculo del coste total de Subcontratación obtenido por la suma de: coste fijo de subcontratación y coste por unidad subcontratada.

$$CTS_{pt} = \sum_i \sum_t [CFS_{ip} \lambda_{ipt} + CUS_{ip} QS_{ipt}], \forall p, t \quad (7)$$

3.2.3. Coste Total de Manutención

La ecuación 8, 9, 10 y 11 representan los costes de manutención (manejo de materiales) para cada etapa de la cadena de suministro.

$$CTM_{gt} = \sum_i CUM_{ig} \left(LM_i \sum_p QV_{igpt} \right), \forall g, t \quad (8)$$

$$CTM_{pt} = \sum_i CUM_{ip} \left(\sum_j [LP_{ipj} \alpha_{ipj,t-1} + QFE_{ipj} \sigma_{ipj,t-1}] + \sum_d QV_{ipdt} \right), \forall p, t \quad (9)$$

$$CTM_{dt} = \sum_i CUM_{id} \left(\sum_p QV_{ipdt-TET_{pd}} + \sum_r QV_{idrt} \right), \forall d, t \quad (10)$$

$$CTM_{rt} = \sum_i CUM_{ir} \left(\sum_d QV_{idrt-TET_{dr}} + \sum_c QV_{irct} \right), \forall r, t \quad (11)$$

3.2.4. Coste Total de Compras

La ecuación 12 muestra el coste total de los materiales de los proveedores. Las ecuaciones 13, 14 y 15 corresponden al cálculo del coste total de compras obtenido por el producto de: precio de cada producto en cada etapa y cantidad vendida de p, d y r.

$$CTC_{gt} = \sum_i^I CUP_{igp} LM_i QV_{igpt}, \quad \forall g, t \quad (12)$$

$$CTC_{pt} = \sum_i^I \sum_g^G PUP_{igp} QV_{igpt}, \quad \forall p, t \quad (13)$$

$$CTC_{dt} = \sum_i^I \sum_p^P PUP_{ipd} QV_{ipdt}, \quad \forall d, t \quad (14)$$

$$CTC_{rt} = \sum_i^I \sum_d^D PUP_{idr} QV_{idrt}, \quad \forall r, t \quad (15)$$

3.2.5. Coste Total de Inventario

Las ecuaciones 16, 17 y 18 corresponden al cálculo del coste total de inventario obtenido por el producto de: coste por unidad de inventario en cada etapa y nivel de inventario de g, p, d y r.

$$CTI_{pt} = \sum_i^I CUI_{ipt} NI_{ipt}, \quad \forall p, t \quad (16)$$

$$CTI_{dt} = \sum_i^I CUI_{id} NI_{idt}, \quad \forall d, t \quad (17)$$

$$CTI_{rt} = \sum_i^I CUI_{ir} NI_{irt}, \quad \forall r, t \quad (18)$$

3.2.6. Coste Total de Transporte

Las ecuaciones 19, 20 y 21 corresponden al cálculo del coste de transporte considerando los costes fijos y unitarios tanto del transporte de entrada y como de salida.

$$CTT_{gt} = \sum_k^K \sum_g^G [CFT_{kgp} Y_{kgpt} + CUT_{kgp} QT_{kgpt}], \quad \forall p, t \quad (19)$$

$$CTT_{pt} = \sum_k^K \sum_p^P [CFT_{kpd} Y_{kpdt} + CUT_{kpd} QT_{kpdt}], \quad \forall d, t \quad (20)$$

$$CTT_{dt} = \sum_k^K \sum_d^D [CFT_{kdr} Y_{kdr} + CUT_{kdr} QT_{kdr}], \quad \forall r, t \quad (21)$$

3.2.7. Coste de Diferir Demanda

Las ecuaciones 22 y 23 corresponden al cálculo del coste unitario de demanda diferida por la cantidad de demanda diferida.

$$\sum_i^I \sum_d^D \sum_t^T CDD_{id} QDD_{idt} \quad (22)$$

$$\sum_i^I \sum_r^R \sum_t^T CDD_{ir} QDD_{irt} \quad (23)$$

3.2.8. Venta de Productos

Las ecuaciones 24, 25, 26 y 27 calculan los márgenes obtenidos por cada etapa de la RS.

$$VP_{gt} = \sum_p \sum_i PUP_{igp} LM_i QV_{igpt}, \quad \forall g, t \quad (24)$$

$$VP_{pt} = \sum_d \sum_i PUP_{ipd} QV_{ipdt}, \quad \forall p, t \quad (25)$$

$$VP_{dt} = \sum_r \sum_i PUP_{idr} QV_{idrt}, \quad \forall d, t \quad (26)$$

$$VP_{rt} = \sum_c \sum_i PUP_{irc} QV_{irct}, \quad \forall r, t \quad (27)$$

3.3. Restricciones de Fabricación

La restricción 28 es la agrupación de productos en familias.

$$FLP_{fjpt} = \sum_i LP_{ijpt} \rho_{if}, \quad \forall f, j, p \quad (28)$$

La restricción 29 es de máxima capacidad en horario normal y extra.

$$\sum_f FLP_{fjpt} \leq MQFN_{jpt} + MQFE_{jpt}, \quad \forall j, p, t \quad (29)$$

La restricción 30 proporciona límites superiores e inferiores para cantidades de producción por familia.

$$MFQP_{fjpt} w_{fjpt} \leq FLP_{fjpt} \leq (MQFN_{jpt} + MQFE_{jpt}) w_{fjpt}, \quad \forall j, p, t \quad (30)$$

La restricción 31 especifica qué planta de fabricación se prepara para la producción de un producto en un periodo dado.

$$\sum_i \beta_{ipjt} = 1, \quad \forall p, j, t \quad (31)$$

La restricción 32 asegura que la planta podrá fabricar un determinado producto en horario regular siempre que dicha planta haya sido preparada previamente para la fabricación de dicho producto. También que la planta podrá producir en horario extra siempre que el horario regular sea insuficiente.

$$\sigma_{ipjt} \leq \alpha_{ipjt} \leq \beta_{ipjt}, \quad \forall i, p, j, t \quad (32)$$

La restricción 33 asegura que la planta realizará un cambio de fabricación de productos cuando la misma planta en el periodo anterior no haya sido preparada para la fabricación de dicho producto.

$$\gamma_{ipjt} \geq | \beta_{ipjt} - \beta_{ipj,t-1} |, \quad \forall i, p, j, t \quad (33)$$

La restricción 34 implica que el número total de periodos con horas extra debe ser menor que un determinado límite.

$$\sum_i \sum_t \sigma_{ipjt} \leq MPE_p \text{ (Dato Binario)}, \quad \forall j, p \quad (34)$$

La restricción 35 específica que el número de periodos continuos con fabricación en horas extra que debe ser menor que N.

$$\sum_i \sum_n \sigma_{ipj,t-n+1} \leq N-1, \quad \forall j, p, t \quad (35)$$

La restricción 36, especifica que la cantidad de subcontratación en cualquier periodo debe ser menor o igual que un porcentaje de la cantidad de producción normal.

$$QS_{ipt} \leq PQS_{ipt} QP_{ipt}, \quad \forall i, p, t \quad (36)$$

3.4. Restricciones de Transporte

Las restricciones 37, 38, 39 y 40 son las relaciones entre la cantidad transportada y el coste del transporte.

$$NCT_{k-1,gp} Y_{kgpt} \leq QT_{kgpt} \leq NCT_{kgp} Y_{kgpt}, \quad \forall k, g, p, t \quad (37)$$

$$NCT_{k-1,pd} Y_{kpdt} \leq QT_{kpdt} \leq NCT_{kpd} Y_{kpdt}, \quad \forall k, p, d, t \quad (38)$$

$$NCT_{k-1,dr} Y_{kdrt} \leq QT_{kdrt} \leq NCT_{kdr} Y_{kdrt}, \quad \forall k, d, r, t \quad (39)$$

$$Y_{kgpt} \leq 1, Y_{kpdt} \leq 1, Y_{kdrt} \leq 1, \quad \forall k, g, p, d, c, t \quad (40)$$

Las restricciones 41, 42 y 43 especifican las cantidades transportadas para cada producto i en un periodo de tiempo t desde los proveedores hasta las plantas, de plantas a distribuidores y de distribuidores a detallistas.

$$QT_{gpt} = \sum_k QT_{kgpt} = LM_i \sum_i QV_{igpt}, \quad \forall g, p, t \quad (41)$$

$$QT_{pdt} = \sum_{k'} QT_{kpdt} = \sum_i QV_{ipdt}, \quad \forall p, d, t \quad (42)$$

$$QT_{drt} = \sum_k QT_{kdrt} = \sum_i QV_{idrt}, \quad \forall d, r, t \quad (43)$$

La restricción 44 especifica la Capacidad Máxima de Transporte de Entrada a la Planta p desde el Proveedor g . Las restricciones 45 y 46 especifican la Capacidad Máxima de Transporte de salida desde la planta al distribuidor y desde el distribuidor al detallista.

$$\sum_p QT_{gpt} \leq CMET_p, \quad \forall g, t \quad (44)$$

$$\sum_d QT_{pdt} \leq CMST_d, \quad \forall p, t \quad (45)$$

$$\sum_r QT_{drt} \leq CMST_d, \quad \forall d, t \quad (46)$$

3.5. Restricciones de Inventario

La restricción 47 corresponde al balance del inventario; el inventario del proveedor g en el periodo t será igual al inventario existente en el periodo anterior $t-1$, menos la ventas realizadas a las plantas. Las restricciones 48 y 49 se aplican a centros de distribución, detallistas y plantas.

$$NI_{ipt} = NI_{ip,t-1} + LP_{ipj} \alpha_{ipj,t-1} + QFE_{ipj} \sigma_{ipj,t-1} - \sum_d QV_{pdt}, \quad \forall i, p, t \quad (47)$$

$$NI_{idt} = NI_{id,t-1} + \sum_p QV_{ipd,t-TdT_{pd}} - \sum_r QV_{idrt}, \quad \forall i, d, t \quad (48)$$

$$NI_{irt} = NI_{ir,t-1} + \sum_p QV_{idr,t-TdT_{dr}} - \sum_c QV_{irct}, \quad \forall i, r, t \quad (49)$$

La restricción 50 es la demanda diferida de cada producto. La restricción 51 la capacidad máxima de inventario para cualquier etapa de la cadena. Y la ecuación 52 es para garantizar la no negatividad de las variables indicadas.

$$B_{irt} = B_{ir,t-1} + PDC_{irt} - \sum_r QV_{rct}, \quad B_{irT} = 0, \quad \forall i, c, t \quad (50)$$

$$\sum_i NI_{iht} \leq MCI_h, \quad \forall x, t; \text{ donde } h = \{p, d, r\} \quad (51)$$

$$NI_{iht}, QV_{ixt}, B_{irt} \geq 0 \quad \forall i, h, x, t \quad (52)$$

4. Conclusiones

En virtud del modelo que se pretende realizar, su validación práctica es necesaria, por lo que se tiene que ejecutar en CIPLEX, obtener los resultados y examinar el desempeño computacional.

Con el análisis de sensibilidad se puede analizar con mayor profundidad la problemática, corroborar las preguntas de investigación, revisar las implicaciones para la teoría, las prácticas y las políticas de gestión, así como identificar las limitaciones y líneas futuras de investigación.

En una futura comunicación se pretende plantear un problema de programación de la producción con parámetros inciertos teniendo en cuenta las actuales consideraciones del modelo matemático. Para esto hay que tener en cuenta los métodos de Inteligencia Artificial (redes neuronales y algoritmos genéticos), los cuales ayudan a mejorar los parámetros cuyos valores varían más y afectan los resultados.

Referencias

- Chen, L.C.; Lee, W.C. (2004). "Multi-objective optimization of multi-echelon supply chain networks with uncertainty product demands and prices". *Computers and Chemical Engineering*, 28:1131-1144.
- Chiu, M.; Lin, G. (2004). "Collaborative Supply Chain Planning using the Artificial Neuronal Network Approach". *Journal of Manufacturing Technology Management*, 15(8):787-796.
- Lambert, D.M.; Cooper, M.C.; Pagh, J.D. (1998). "Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities". *International Journal of Logistics Management*, 9(2):1-198.
- Lippmann, R.P. (1987). "An Introduction to Computing with Neuronal Nets". *IEEE ASSP Magazine*, pp. 4-22.
- Mena, N.; Lario, F.C.; Vicens, E. (2008). "Metodologías de Modelado para la Toma de Decisiones en la Red/Cadena de Suministro en el Contexto de Incertidumbre". 2nd *International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management*. Burgos.
- Robinson, R. (1999). "Welcome to OR Territory". *OR/MS Today*, pp. 40-43 August.