

## **Modelo Matemático con Incertidumbre para una Red de Suministro: Un enfoque a las Redes Neuronales\***

**Nicolay Mena O'Meara, Eduardo Vicens Salort, Francisco Cruz Lario**

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

**Palabras clave:** Redes Neuronales, Incertidumbre, Red/Cadena de Suministro

### **Resumen**

Este artículo consiste en comparar un Modelo Matemático Determinista con un Modelo Matemático con Incertidumbre, y así analizar resultados de diversas estrategias y decisiones. Se formulan ambos modelos para Minimizar los Costes del Plan Agregado de una Red/Cadena de Suministro. El objetivo principal de esta investigación es el Modelo Matemático con Incertidumbre, ya que este, trabaja con una metodología de Redes Neuronales Artificiales, la que considera costes y parámetros con Incertidumbre, para la resolución del problema. Siendo esta realizada en VISUAL.NET.

### **1. Introducción**

A partir de los planteamientos identificados en la Metodología de Planificación Colaborativa en contexto de Incertidumbre en la Gestión de la Red/Cadena de Suministro (Mena, N.; Lario, F.C.; y Vicens, E.; 2008) se determinan las bases de un *Modelo Matemático con Incertidumbre (MMI)*; para ello se tiene en cuenta que parámetros del *Modelo Matemático Determinista (MMD)* de la Red/Cadena de Suministro (R/CS) pueden adquirir el carácter de parámetros con Incertidumbre. La representación del MMI es básicamente igual que la del MMD salvo porque se considera que varios costes y otros parámetros son inciertos. Pero esta Incertidumbre no tiene una probabilidad asociada sino más bien una posibilidad de que suceda. Esta posibilidad se define por el decisor responsable (en función de su experiencia y conocimiento de la realidad actual), es decir que toma las decisiones de la Red de Suministro en su totalidad (R/CS Centralizada); todo esto teniendo en cuenta las políticas de la Empresa. Se ha considerado como método más adecuado para afrontar la Incertidumbre, la Programación Matemática con Redes Neuronales Artificiales (ANN) en el contexto de la teoría posibilista. En virtud del modelo que se pretende realizar, se utilizara una R/CS inspirada en problemas reales, teniendo en cuenta parámetros *similares a los reales*. Se podrá examinar el desempeño del modelo usando aquellas técnicas de solución que permiten la posible aplicación del modelo y obtención de los posibles resultados, y también analizar la problemática con mayor profundidad.

---

\* Este trabajo es realizado en el ámbito del Proyecto del MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA "De la Planificación a la Ejecución en la Cadena (Red) de Suministro: Dos visiones diferentes y sus herramientas (DPI2004-06916-C02-01)"

## 2. Modelo Matemático Determinista de la Red/Cadena de Suministro

El objetivo del Plan Agregado de la Producción (PAP) de la empresa en cuestión, definido a Nivel Táctico, es el de decidir, para un horizonte rodante de un año y con un período de planificación de un año, la cantidad anual a producir de cada Familia de Productos en cada Línea de Fabricación de cada Planta Productiva de la compañía en cuestión (P1, P2 y P3) a partir de una Previsión de Ventas Anual y considerando un Nivel de Inventario Medio Anual, así como los Porcentaje de Mermas y de 1ª Calidades, el Presupuesto de Producción y las Cantidades a Subcontratar, según políticas de empresa. En PAP se decide para la asignación de las cantidades a producir a cada Familia de Productos a cada las Líneas de Fabricación de cada Planta Productiva.

### 2.1. Plan Agregado de la Producción

En este se decide la cantidad anual de  $m^2$  a fabricar de cada Familia de Productos en cada Línea de Fabricación de cada una de las Plantas Productivas en función de los siguientes costes:

- Coste de Producción de cada Familia de Productos en cada Línea de Fabricación de cada Planta Productiva.
- Costes Fijos de Asignar una Familia de Productos a una Línea de Fabricación.
- Costes de Setup de la Familia de Productos asignada a la Línea de Fabricación.

### 2.2. Descripción del Modelo Analítico Determinista para la Definición del Plan Agregado de Producción

A continuación se mostraran los diferentes elementos necesarios para definir el modelo analítico determinista que describe el Plan Agregado de la Empresa en cuestión.

#### 2.2.1 Índices:

- **f** : Familia de Productos.
- **p** : Plantas Productivas.
- **l** : Líneas de Fabricación.

#### 2.2.2 Conjuntos:

- **Pl(l)**: Conjunto de Plantas de Producción que poseen la Línea de Fabricación “l”.
- **Lp(p)**: Conjunto de Líneas de Fabricación que se localizan en la Planta Productiva “p”.
- **Lf(f)**: Conjunto de Líneas de Fabricación en las que se puede producir la Familia de Productos “f”.
- **Fl(l)**: Conjunto de Familias de Productos que pueden producirse en la Línea de Fabricación “l”.

#### 2.2.3 Datos:

- **mp<sub>f</sub>** : Metros 2 que se ha decidido fabricar, en el 1º paso del PAP, de la Familia de Productos “f”.
- **lmin<sub>lp</sub>** : Lote mínimo de fabricación de la Familia de Productos “f” en la Línea de Fabricación “l” de la Planta Productiva “p”.
- **rot<sub>f</sub>** : Índice de Agotamiento del Inventario de la Familia de Productos “f”.

- **lmed<sub>f</sub>** : Lote medio de fabricación de la Familia de Productos “f” en la Línea de Fabricación “l” de la Planta Productiva “p”.
- **capfab<sub>lp</sub>** : Capacidad de Fabricación (en unidades de tiempo) de la Línea de Fabricación “l” en la Planta Productiva “p”.
- **costfab<sub>lp</sub>** : Coste de Fabricar una unidad de la Familia de Productos “f” en la línea de Fabricación “l” en la Planta Productiva “p”.
- **costasign<sub>lp</sub>** : Coste Fijo de Asignar la fabricación de la Familia de Productos “f” a la Línea de Fabricación “l” de la Planta “p”.
- **costsetup<sub>lp</sub>** : Coste de Setup de la Familia de Productos “f” en la Línea de Fabricación “l” de la Planta Productiva “p”.
- **tfab<sub>lp</sub>** : Tiempo de Fabricación de la Familia de Productos “f” en la Línea de Fabricación “l” en la Planta Productiva “p”.
- **tsetup<sub>lp</sub>** : Tiempo Medio de Setup de la Familia de Productos “f” en la Línea de Fabricación “l” en la Planta Productiva “p”.
- **M** : Valor entero muy elevado.

#### 2.2.4 Variables de Decisión:

- **XMP<sub>lp</sub>** : variable binaria cuyo valor es 1 si se fabrica la Familia de Productos “f” en la Línea de Fabricación “l” de la Planta de Producción “p”, en caso contrario su valor es 0.
- **MPFLP<sub>lp</sub>** : Metros 2 a fabricar de la Familia de Productos “f” en la Línea de Fabricación “l” en la Planta Productiva “p”.
- **NL<sub>lp</sub>** : Número de lotes a fabricar de la Familia de Productos “f” en la Línea de Fabricación “l” en la Planta Productiva “p”.

#### 2.2.5 Función Objetivo:

Es minimizar los costes asociados al proceso de fabricación, a los cambios de partida necesarios, para realizar en una Línea de Fabricación para pasar de la fabricación de una determinada Familia de Productos a otra Familia de Productos, y los costes correspondientes a la asignación de una Familia de Productos a una determinada Línea de Fabricación.

Min Z:

$$\sum_f \sum_{l \in L_f(f)} \sum_{p \in P(l)} (\text{costfab}_{lp} * MPFLP_{lp} + \text{costsetup}_{lp} * NL_{lp} + \text{costasign}_{lp} * XMP_{lp}) \quad (1)$$

#### 2.2.6 Restricciones:

-Condiciones de Consistencia en la Desagregación:

Partimos de los valores de la variable de decisión del paso anterior MPF<sub>f</sub> que ahora serán considerados como datos del modelo.

$$mpf_f = \sum_{l \in L_f(f)} \sum_{p \in P(l)} MPFLP_{lp} \quad , \forall f \quad (2)$$

-Lotificación:

$$XMP_{f_{lp}} * l \min_{f_{lp}} \leq MPFl, \forall f, l \in Lf(f), p \in Pl(l) \quad (3)$$

$$lmed_f = mpf_f / (12 / rot_f), \forall f \quad (4)$$

$$MPFLP_{f_{lp}} \leq NL_{f_{lp}} * lmed, \forall f, l \in Lf(f), p \in Pl(l) \quad (5)$$

$$MPFLP_{f_{lp}} \leq M * XMP_{f_{lp}}, \forall f, l \in Lf(f), p \in Pl(l) \quad (6)$$

-Consumo de Capacidad (unidades de tiempo)

$$\sum_{f \in Fl(l)} (tfab_{f_{lp}} * MPFLP_{f_{lp}} + tsetup_{f_{lp}} * NL_{f_{lp}}) \leq capfab_{lp}, \forall l, p \in Pl(l) \quad (7)$$

### 2.3. Ejemplo del MMD y MMI

La consideración de una pequeña y típica Red/Cadena de Suministro consiste en tres plantas, tres líneas de montaje, y cuatro Familias de Productos (Familia1, Familia2, Familia3 y Familia4). La primera planta “P1”, a una línea de trabajo “L1”; la segunda planta “P2”, a una línea de trabajo “L2”, y la tercera planta “P3”, a una línea de trabajo “L3”. Asumimos los metros cuadrados a fabricar a un período de un año (horizonte de programación un año). Y a fin de simplificar el problema, descuidamos el ratio fluctuante para los parámetros de coste. La decisión de la cantidad anual de m<sup>2</sup> a fabricar de cada Familia de Productos en cada Línea de Fabricación de cada Plantas Productivas, se hace en función a los valores de todos los parámetros de coste mostrados en la tabla 2 y otros parámetros que son mostrados en las tablas, (tabla 1, tabla 3 y tabla 4). En las tablas (tabla 5, tabla 6 y tabla 7), se ven parámetros definidos por el decisor, son los parámetros inciertos requeridos para definir los valores de entrada de la Red Neuronal los que interactúan con el MPL. Los valores de salida esperados para cada parámetro definido (en este caso el decisor encargado) se ingresan en el software diseñado de ANN (ver figuras 1 y 2); los cuales son respectivamente adoptados para mejorar los parámetros del modelo.

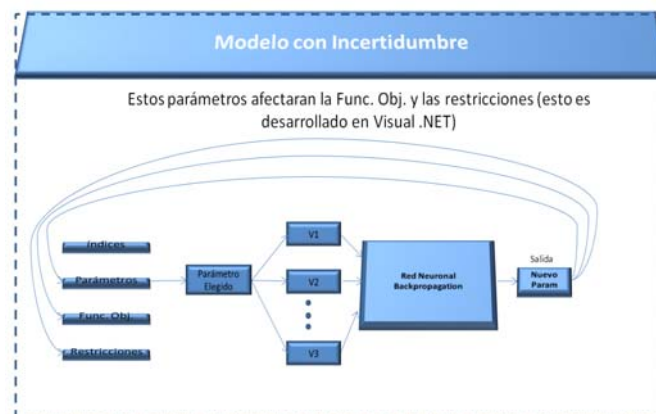
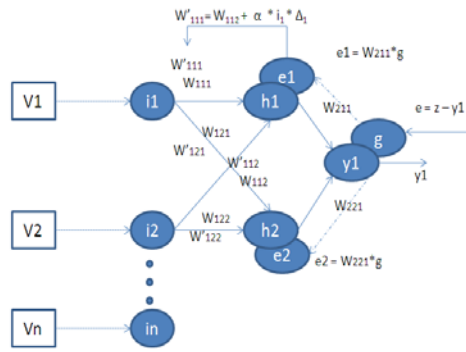


Figura 1.- Modelo de Incertidumbre con Parámetros inciertos y Redes Neuronales (Elaboración Propia).



**Figura 2.-** representación del funcionamiento interno de la Red Neuronal (Elaboración Propia).

Tabla 1, muestra los parámetros de costes de Fabricación, Asignación y de Setup. La tabla 2, son los parámetros de metros cuadrados para fabricar, nivel de rotación y lote medio.

Familias Productos	mpf	rot	lmed
Familia1	552	5	230
Familia2	546	5	227
Familia3	400	5	166
Familia4	647	5	270

Familias Productos	Lineas	Plantas	cosstfablp	Costassign	Costsetup
Familia1	L1	P1	2	1,4	1,2
Familia1	L2	P2	2,5	1,6	1,6
Familia1	L3	P3	3	1,7	1,4
Familia2	L1	P1	1,4	2,1	2,1
Familia2	L2	P2	2,7	2,8	2,5
Familia2	L3	P3	3,1	2,6	2,9
Familia3	L1	P1	1,4	3,1	1,5
Familia3	L2	P2	1,5	3,4	2,4
Familia3	L3	P3	1,6	3,8	3,5
Familia4	L1	P1	2,4	1,8	1,6
Familia4	L2	P2	2,8	2,4	1,9
Familia4	L3	P3	1	3,2	3,2

Las tablas 3 y 4, son los parámetros de Lote mínimo., Tiempo de Fabricación y Tiempo de Setup.

Familias Productos	Lineas	Plantas	limn
Familia1	L1	P1	50
Familia1	L2	P2	50
Familia1	L3	P3	50
Familia2	L1	P1	50
Familia2	L2	P2	50
Familia2	L3	P3	50
Familia3	L1	P1	50
Familia3	L2	P2	50
Familia3	L3	P3	50
Familia4	L1	P1	50
Familia4	L2	P2	50
Familia4	L3	P3	50

Familias Productos	Lineas	Plantas	tfab	tsetup
Familia1	L1	P1	0,5	1,2
Familia1	L2	P2	0,4	1,4
Familia1	L3	P3	0,6	1,8
Familia2	L1	P1	0,4	1,2
Familia2	L2	P2	0,6	1,8
Familia2	L3	P3	0,5	1,2
Familia3	L1	P1	0,5	1,4
Familia3	L2	P2	0,6	1,8
Familia3	L3	P3	0,4	1,2
Familia4	L1	P1	0,4	1,2
Familia4	L2	P2	0,6	1,8
Familia4	L3	P3	0,5	1,4

Tabla 5 y 6 son los valores asignados para los parámetros cafab y mpf para usar en la ANN

Lineas	Plantas	capfab1	capfab2	capfab3	capfab4	capfab5
L1	P1	400	450	380	390	410
L2	P2	800	790	780	770	810
L3	P3	700	690	680	670	710

Familias Productos	mpf1	mpf2	mpf3	mpf4	mpf5
Familia1	552	552	552	552	552
Familia2	546	546	546	546	546
Familia3	400	400	400	400	400
Familia4	647	647	647	647	647

El problema incluye 43 restricciones, 36 variables enteras y 72 variables binarias. Para resolver este problema de programación no lineal entera mixta para el modelo de Red/Cadena de Suministro, se utiliza el Sistema de Modelado Algebraico Generalizado (MPL, 4.11), un sistema de modelado de alto nivel conocido para problemas de programación matemáticos. El solver usado es el “CPLEX”.

Tabla 7, valores asignados para el parámetro costfablp y costasign para usar en la ANN

Familias Productos	Lineas	Plantas	costfab1	costfab2	costfab3	costfab4	costfab5	costasign1	costasign2	costasign3	costasign4	costasign5
Familia1	L1	P1	2	1,8	2	2,1	2,2	1,2	1,6	1,8	1	1,4
Familia1	L2	P2	2,5	2,4	2	2,3	2,2	1,8	1,4	2	1,2	1,6
Familia1	L3	P3	3	3,2	2,8	2,6	2,5	1,2	2,2	1,5	1,9	1,7
Familia2	L1	P1	1	1,4	1,8	1,2	1,6	2,5	1,6	2,3	1,9	2,1
Familia2	L2	P2	2,7	2,5	2	2,9	2,3	2,5	3,1	3,4	2,4	2,8
Familia2	L3	P3	3,1	3,5	3,9	2,9	3,3	2,1	3,1	2,6	3,2	2
Familia3	L1	P1	1,4	1,2	1,6	1	1,5	3,1	3,1	3	3,2	3,1
Familia3	L2	P2	2,5	1	1	1,4	1	3	3,8	3,6	3,2	3,4
Familia3	L3	P3	1,4	1,8	1,2	2	1,1	4,2	3,4	3,8	4	3,6
Familia4	L1	P1	2	2,8	3,4	1,9	3,3	1	2,6	1,8	2	1,6
Familia4	L2	P2	2,8	3,2	2,4	2,6	2,1	2	2,8	2,2	2,6	2,4
Familia4	L3	P3	1	0,9	1,1	0,8	0,7	3	3,4	3,1	3,3	3,2

Según la descripción del problema, su formulación es matemática, y de diseño de parámetros, siendo su Función-Objetivo la Minimización de Costes del problema de programación no lineal entera mixta, esto usando el procedimiento del MMD y el MMI (ANN), donde para este último se aplican los siguientes ítems.

1. Selección del modelo de ANN a utilizar para el MMI. En este caso se usará el Backpropagation, porque es el más apropiado.
2. Determinación de las entradas y salidas necesarias de la ANN.
3. Calculo del conjunto de datos de entrenamiento/validación.
4. Entrenamiento. El uso de la ANN involucra dos diferentes tareas: la definición de la ANN (estructura, número de neuronas, funciones de transferencia, etc.) y de estimación de sus parámetros.
5. Fase de Aprendizaje. Se deben entrenar varias ANN porque el espacio de búsqueda con los pesos contiene varios mínimos locales.

Después de esto, se espera obtener una ANN con buenas propiedades de generalización, aproximación de la función objetivo y/o condiciones iniciales.

6. Validación de las ANN entrenadas. Esta fase consiste en verificar la estimación de la función con la red utilizando datos no presentados a ella durante el entrenamiento.

Para el análisis que nos ocupa la generación de un conjunto de validación implica llamadas adicionales del programa de cálculo exacto de la función. En general se trata de una fase opcional, de la cual puede prescindirse si se tiene seguridad sobre la aproximación lograda por experiencia previa.

## 2.4. Análisis y Resultados de los MMD y MMI

Los resultados de este ejemplo se hacen a partir de las distintas corridas de los modelos, y se analizan los mismos para inferir reglas o recomendaciones, para las R/CS de respuesta rápida. Si bien las aplicaciones se basan en un ejemplo sencillo pero completo, sus costes, y parámetros son propios de la Empresa, los resultados del análisis pueden servir de guía o referencia a toda Industria de Productos Cerámicos con procesos estables, como son las R/CS del sector cerámico. En los siguientes apartados se exponen los resultados del modelo determinista y los resultados del modelo con incertidumbre.

Tabla 8. Comparación de diferentes Funciones Objetivo.

Modelos MPL	Func. Obj.
Modelo Determinista	3241,8
Modelo de incertidumbre con todos los parámetros	3124,2479
Modelo de incertidumbre con capfab	3245,071
Modelo de incertidumbre con cosstfabflp	3092,872
Modelo de incertidumbre con costassign	3241,295
Modelo de incertidumbre mpf	3215,9421

### 2.4.1 Comparación de los resultados de los MMD y MMI

Los resultados obtenidos de las ejecuciones de los modelos, determinista y de incertidumbre, realizados con los datos expuestos en el apartado “2.3” de este documento. La primera de estas ejecuciones, es la del modelo determinista, seguidamente las que utilizan un parámetro incierto para cada ejecución (según lo indicado en el apartado “2.3”) y por último la que tiene en cuenta todos los parámetros inciertos.

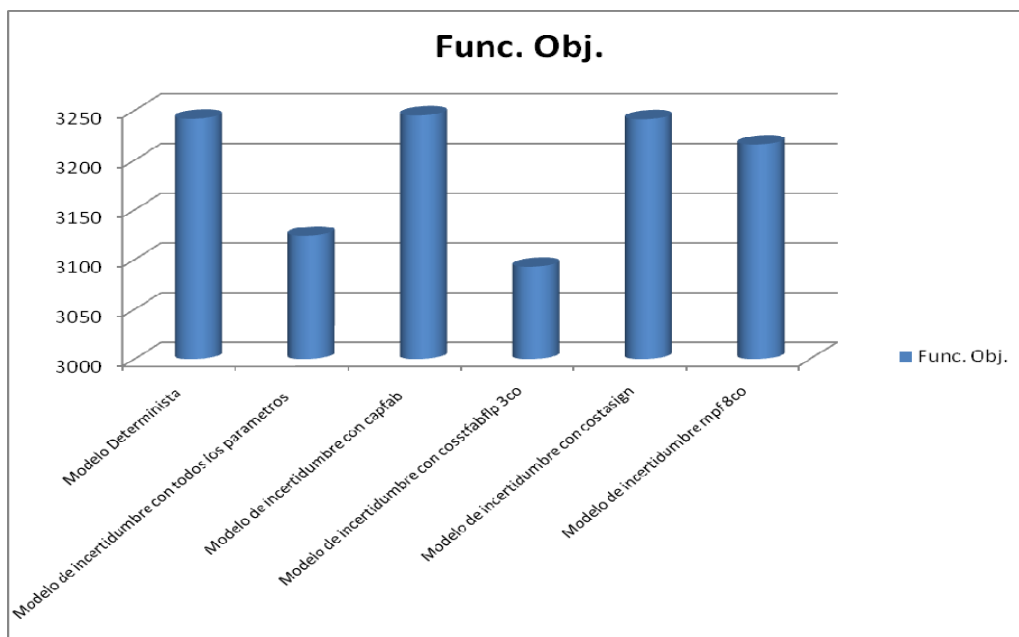


Figura 3. Comparación entre modelos

En la primera ejecución (MMD), se hace un análisis determinado en cuanto a la función objetivo (Minimización de Costes), Variables de Decisión y Restricciones; así mismo en las siguientes ejecuciones pero teniendo en cuenta cada parámetro incierto de los definidos antes por el decisor del problema. Por tanto se ejecutarán diferentes modelos, el primero con un parámetro de *Capacidad de Fabricación*, el segundo con un parámetro de *coste de Fabricar una unidad de la familia de Productos*, el tercero con un parámetro de *Coste de Asignación a la Fabricación* y por último el parámetro de *metros cuadrados decididos para fabricar*. Al haber ejecutado cada uno de los modelos con un parámetro incierto, procedemos a ejecutar el modelo con todos los parámetros inciertos expuestos anteriormente.

Tabla 9. Fabricación de una Familia en una Línea de una planta de producción.

	F1	F1	F1	F2	F2	F2	F3	F3	F3	F4	F4	F4
XMP DET	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
XMP I Todos	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
XMP I capfab	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
XMP I cosstfabflp	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
XMP I Costasig	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
XMP I mpf	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1

Al haber ejecutado el modelo determinista y los modelos con incertidumbre; vemos que los modelos con incertidumbre dependen de diferentes parámetros inciertos (valores definidos por el decisor para cada parámetro incierto, siendo estos las entradas a la ANN) y así mismo de unos respectivos valores esperados (valor definido por el decisor para cada salida de la ANN, valor que ayuda a minimizar el tipo de error en el aprendizaje respecto al valor real.) para cada parámetro incierto. Obteniendo los siguientes resultados (ver la tabla 8). Luego se ha comparado los costes del modelo determinista con los de más modelos con incertidumbre y la diferencia sale positiva a favor del modelo con incertidumbre. La razón principal de este efecto positivo es que se ha mejorado también los metros cuadrados a fabricar y el número de lotes asignado es el mismo para todos los casos.

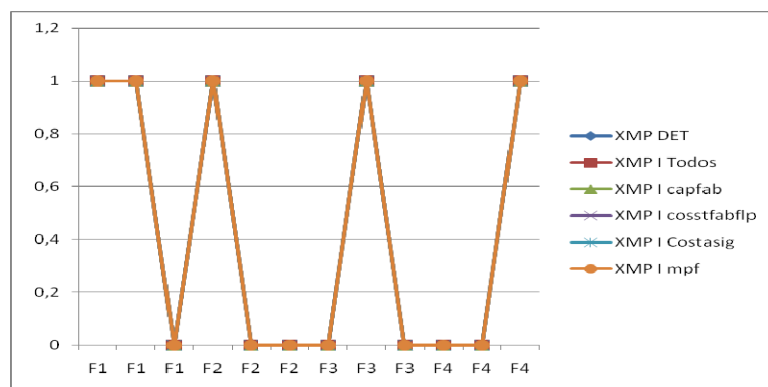


Figura 4.- Fabricación de una Familia en una Línea de una planta de producción.

En la figura 3, podemos observar los diferentes valores de la función objetivo para cada ejecución de los modelos antes enunciados. Observamos que las respuestas de los modelos con incertidumbre se asemejan al modelo determinista. Teniendo en cuenta que en la primera ejecución de modelos de incertidumbre se usaron todos los parámetros inciertos definidos los cuales dieron mejor resultado; usando 6 neuronas de capa oculta para el parámetro capfab, 3 neuronas de capa oculta para el parámetro cosstfab, 4 neuronas de capa oculta para el parámetro costasig y 7 neuronas de capa oculta para el parámetro mpf. La segunda ejecución que corresponde al modelo que solo se tiene en cuenta el parámetro capfab con tres neuronas de capa oculta, la respuesta de la función objetivo es mayor que la determinista, pero es muy poca la diferencia. Las demás ejecuciones de los demás parámetros son: 3 neuronas de capa



oculta para el parámetro cosstfab, 4 neuronas de capa oculta para el parámetro costasig y 7 neuronas de capa oculta para el parámetro mpf. Teniendo un menor resultado que el modelo determinista.

En la tabla 9 y figura 4, se ve que en todos los resultados de todos los modelos coinciden las soluciones de las variables de decisión XMP (valor binario), la que especifica si se fabrica una Familia de Productos en una línea de fabricación de una planta de producción.

Tabla 10.- Metros cuadrados a fabricar por Familia

	F1	F1	F1	F2	F2	F2	F3	F3	F3	F4	F4	F4
MPF DET	367,2	184,8	0	546	0	0	0	400	0	0	0	647
MPF todos	369,7	180,324	0	543	0	0	0	393	0	0	0	646,3
MPF capfab	360,7	191,342	0	546	0	0	0	400	0	0	0	647
MPF cosstfablp	367,2	184,8	0	546	0	0	0	400	0	0	0	647
MPF costasign	367,2	184,8	0	546	0	0	0	400	0	0	0	647
MPF mpf	369,5	176,985	0	543	0	0	0	398	0	0	0	643,7

En la tabla 10 y figura 5, se pueden ver los valores de la variable MPF (Metros cuadrados a fabricar de la Familia “f” en la Línea “l” en la Planta “p”) para cada modelo ejecutado. Comparando los MPF determinista con los MPF con incertidumbre y la diferencia sale positiva a favor de los modelos con incertidumbre.

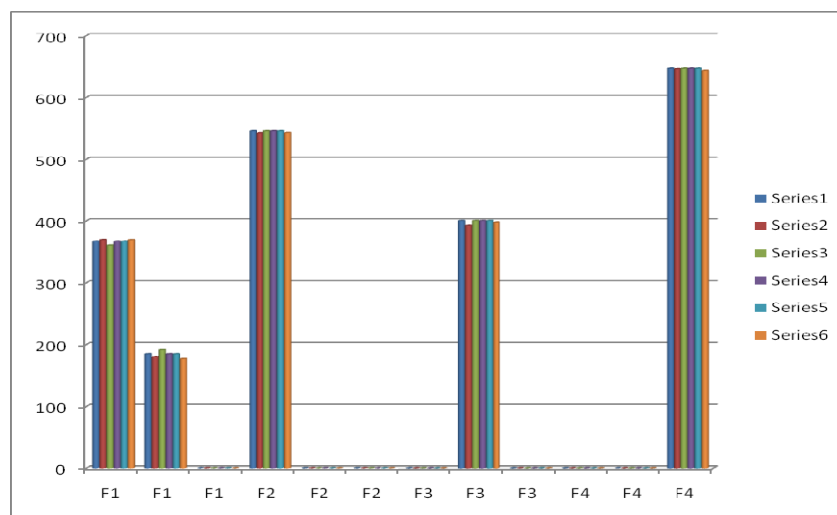


Figura 5.- Metros cuadrados a fabricar por Familia

Tabla 11.- Lotes a fabricar

	F1	F1	F1	F2	F2	F2	F3	F3	F3	F4	F4	F4
NL DET	2	1	0	3	0	0	0	1	0	0	0	3
NL todos	2	1	0	3	0	0	0	1	0	0	0	3
NL Capfab	2	1	0	3	0	0	0	1	0	0	0	3
NL cosstfablp	2	1	0	3	0	0	0	1	0	0	0	3
NL costasign	2	1	0	3	0	0	0	1	0	0	0	3
NL mpf	2	1	0	3	0	0	0	1	0	0	0	3

En la parte de lotes a fabricar, se ve que (tabla 11 y figura 6), en los resultados de todos los modelos, coinciden las soluciones de las variables de decisión NL, las que especifican si se fabrica un Numero de Lotes de una familia en determinada línea de fabricación en la planta productiva indicada.

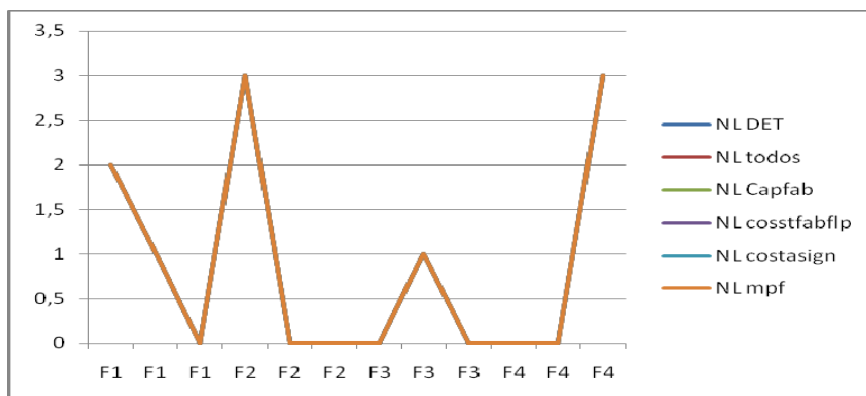


Figura 6.- Lotes a Fabricar.

### 3. Conclusiones

El MMI incorpora de manera eficaz la incertidumbre asociada a los valores de los costes y a los parámetros del problema del MMD.

Como se puede ver en el apartado anterior, los resultados de la programación matemática de la Red Neuronal Backpropagation hecha en el entorno de VISUAL.NET, mejoran en un pequeño porcentaje la solución respecto con el MMD.

### Referencias

Chen, L.C., y 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., y Pagh, J.D. 1998. Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities, in: *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., y Vicens, E., 2008; Planificación Colaborativa en el Contexto de Incertidumbre en la Gestión de la Red/Cadena de Suministro; 2<sup>nd</sup> International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management. Burgos.

Martí, R.; y El-Fallahi, A., 2004. Multilayer neuronal networks: an experimental evaluation of on-line training methods; *Computers & Operations Research* 31 821–832.

Shan, F., Ling, L., Ling, C., y Jingping, H., 2003; Using MLP networks to design a production scheduling system; *Computers & Operations Research* 30 (2003) 1491–1513.