

Análisis y definición de escenarios en programación estocástica para la gestión de la cadena de suministros en el sector del automóvil

Francisco Cruz Lario Esteban¹, Alejandro Rodríguez Villalobos², José Pedro García Sabater³, L. F. Escudero⁴

¹ Dpto. de Organización de Empresas. E.T.S.I.I. Campus Vera s/n. 46021 Valencia., fclario@omp.upv.es

² Escola Politècnica Superior d'Alcoi; Pza Ferrándiz Carbonell, 2; 03801 Alcoi, arodriguez@omp.upv.es

³ Dpto. de Organización de Empresas. E.T.S.I.I. Campus Vera s/n. 46021 Valencia., jpgarcia@omp.upv.es

⁴ Facultad de Ciencias Matemáticas; Universidad Complutense de Madrid; 28040 Madrid

RESUMEN

*En el Proyecto Schumann se ha desarrollado un nuevo software de Optimización y Planificación de la Cadena de Suministro, en el ámbito de la Fabricación, Montaje, Distribución y Servicio, (MADS) que incorpora **funciones estocásticas** para representar la **Incertidumbre**. El Proyecto ha enfocado el tratamiento de la Incertidumbre mediante el **Análisis de Escenarios**, y su conexión con las Técnicas de Computación en Paralelo.*

1 Introducción.

El Proyecto **Schumann** (Full Proposal, August 1997) está financiado por la European Union dentro del **Program ESPRIT** en el área Domaine 6, centrada en el desarrollo y aplicación de las Redes de Computación de Altas Prestaciones (**HPCN**) en la Planificación y Optimización Industrial. Su duración ha sido de 32 meses (Enero de 1998 a Septiembre de 2.000); el sector piloto fue la Fabricación y Montaje de Vehículos. Los partners industriales fueron Daimler-Chrysler y Ford España; el Líder del Proyecto **IBERINCO** (Iberdrola Ingeniería y Consultoría), con el soporte de la Brunel University (United Kingdom) y la Universidad Politécnica de Valencia (**CIGIP**). Logistics Consulting Partners (**LCP**), del Reino Unido, actuó como consultor en temas de Gestión de la Cadena de Suministro (**GCS**).

El objetivo del Proyecto Schumann ha sido desarrollar una Aplicación Informática para la Planificación y la Optimización de la Cadena de Suministro (Lario, 1999) mediante un Modelo multi-producto, multi-nivel, multi-planta, y multi-periodo, en un entorno de Producción, Montaje, Distribución y Servicio (**MADS**). Incorpora, también, funciones estocásticas para representar la **Incertidumbre**. El Proyecto se ha centrado en el tratamiento del Incertidumbre por medio del **Análisis de Escenarios**, y su conexión con las **Técnicas de Computación en Paralelo**. Uno de los tres prototipos desarrollados se ha realizado sobre el Aprovisionamiento, Fabricación y Montaje de vehículos, actuando Ford España como el partner industrial. Ha sido sobre este prototipo que se ha trabajado en el Análisis de Escenarios.

La Aplicación de Planificación de la Cadena de Suministro, en entorno MAD, considerada en el Proyecto Schumann [1] [3], aporta **Incertidumbre** en la **demanda** de los productos, así como en la **disponibilidad, coste u otros aspectos**, tanto en la obtención como en la producción de los componentes. En estas circunstancias la optimización consiste en encontrar la mejor manera de utilizar los recursos a partir de unos **Escenarios** dados por parámetros estocásticos a lo largo del horizonte de planificación [7].

La **Optimización estocástica** mediante **Análisis de Escenarios** [2] ha sido la metodología utilizada para la resolución del problema de Gestión de la Cadena de Suministro en entorno MADS. Para ello es necesario **modelizar la Incertidumbre** de una forma realista y **desarrollar una metodología** que pueda usarse en la práctica; el éxito de la Optimización depende de la facilidad en la construcción un árbol de escenarios relativamente sencillo.

1.1 C.S., Optimización Matemática, Incertidumbre y Escenarios.

En algunos casos la Planificación de la Cadena de Suministro se efectúa mediante los Modelos de Optimización Matemática, que pueden representarse mediante problemas lineales de gran tamaño. Sin embargo la optimización determinista tradicional no es válida para representar el comportamiento dinámico de la Gestión de la Cadena de Suministro (GCS) en la realidad; la razón es que hay que considerar la Incertidumbre. La Aplicación Schumann de Planificación de la Cadena de Suministro en entorno MAD, aportó la Incertidumbre en la demanda de los productos, en la disponibilidad y coste de los componentes y conjuntos, entre otros. En estas circunstancias la optimización consistió en encontrar la mejor manera de utilizar los recursos, a partir de unos Escenarios construidos, desde los parámetros estocásticos, a lo largo del horizonte de Planificación.

a) Gestión de la Cadena de Suministro y Optimización determinista

Los modelos tradicionales de *optimización de la GCS* desarrollan Planes de Producción, sujetos a demanda variable, que minimizan los costes de los recursos humanos, de suministro, de producción y de almacenes.

Este tipo de problemas conduce a los modelos de Optimización Matemática (*Schumann Consortium*, Sept. 1998) que han permitido resolver algunos ejemplos reales con la ayuda del ordenador. Sin embargo es interesante diseñar un **Modelo Genérico** que combine la planificación estratégica y las decisiones logísticas tácticas, y que además tenga en cuenta el **factor tiempo** y los elementos sujetos a **Incertidumbre** en la GCS.

Kekre and Kekre (1985) desarrollaron un sistema de Planificación de Capacidad que modeliza el Trabajo en Curso y el tiempo de Ciclo, y combinan este con un Modelo de Programación Matemática, discreto en el tiempo y con la variable demanda determinista, ofreciendo un interesante debate sobre Planificación de la capacidad. Usaron un sistema basado en Escenarios, pero inciden en las decisiones a largo plazo para la elección de máquinas y equipos para producción.

Cohen and Lee (1989), *Cohen and Moon* (1991) y *Shapiro* (1993) presentan varios modelos para la optimización global de la Gestión de la Cadena en Producción.

En el Modelo SCHUMANN (*Lario, 1999*) se empieza con la versión determinista y en una segunda etapa se introduce la Incertidumbre. Los parámetros y las variables sujetas a Incertidumbre pueden analizarse en términos de valor medio, en términos de distribución de probabilidad para cada ítem, o utilizando un grupo representativo de Escenarios. En Schumann se decidió desarrollar un **Algoritmo Estocástico**, basado en una Aproximación en dos etapas que utiliza el **Análisis estocástico de Escenarios** (*Schumann Consortium, March 1999*).

b) Gestión de la Cadena de Suministro y Optimización estocástica.

Se desarrolló una estructura de modelización para la Gestión de la Cadena de Suministro bajo Incertidumbre basada en *Squire and Kamesan* (1993, 1995) and *Squire* (1994). Igualmente *Escudero, Kamesam, King y Wets* (1993) plantean la Planificación de Producción Vía Escenarios, y posteriormente *Escudero y Kamesam* (1995) enfocan la Planificación de Producción vía modelización de Escenarios. En el Proyecto se utilizaron las alternativas

basadas en procedimientos secuenciales para la resolver el problema global para un Escenario dado, o la versión estocástica para un número reducido de Escenarios.

Es interesante remarcar que se optó por utilizar los procedimientos de **Descomposición Lagrangiana** para manejar la Incertidumbre en los modelos de optimización, ya que dicha descomposición está particularmente adaptada a los entornos de computación en paralelo. El número de Escenarios a considerar estuvo limitado por las técnicas de resolución y la potencia computacional disponible.

La optimización estocástica, mediante Análisis de Escenarios, utilizada obligó a modelizar la Incertidumbre de una forma realista y a desarrollar una **Metodología de Análisis de Escenarios** que pudiese utilizarse fácilmente. Del mismo modo, el éxito de la optimización dependió de la facilidad en la construcción de un **Árbol de Escenarios** relativamente sencillo.

2 Escenarios.

Efectuada la introducción a la utilización de la Optimización estocástica [4], en esta comunicación se trata de *explicitar el Enfoque de Escenarios* [6] y la metodología desarrollada en el contexto del Proyecto Schumann.

2.1 Concepto de Escenarios y Árbol de Escenarios.

Un Escenario puede ser definido como la representación de la posible evolución de un sistema hacia un estado futuro (Figura 1); el escenario mostrará la hipotética situación de cada parámetro constitutivo de un sistema para cada período de un determinado horizonte de planificación.

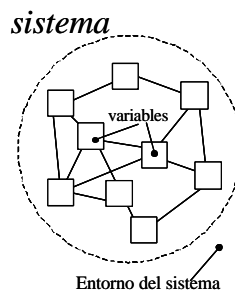


Figura 1: Definición del Sistema.

La división del horizonte de planificación no tiene necesariamente que hacerse en periodos iguales, en este caso, el usuario final propuso la utilización de una escala temporal donde los periodos iniciales son más pequeños que los periodos finales. Esto responde a la agregación de la información de los periodos más alejados del horizonte de planificación. En la Figura 2 se puede observar que dicha agregación es creciente en el tiempo, al igual que la incertidumbre asociada a algunos de los parámetros y variables. Esta división temporal se ajusta a los procesos decisionales y de planificación del usuario final, por tanto, los resultados obtenidos siguiendo esta estructura son fácilmente interpretados por el usuario final.

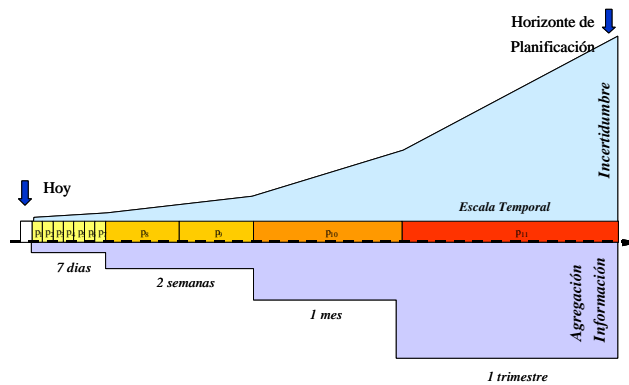


Figura 2: División en periodos del horizonte de planificación.

Se entiende como *Árbol de Escenarios* la representación de un conjunto de escenarios, cada rama del árbol será una posible evolución del sistema. Según Kahn y Wiener, [10] “los escenarios son un instrumento que nos ayudan a mejorar nuestra comprensión sobre las consecuencias a largo plazo, de las tendencias de políticas existentes o potenciales y sus interacciones”. Al contrario de lo que se piensa comúnmente, un escenario no es cada uno de los posibles estados finales; sino que tal y como se observa en la Figura 3, el escenario 10 es realmente una de las posibles evoluciones del sistema desde la situación actual hasta una hipotética situación 10.

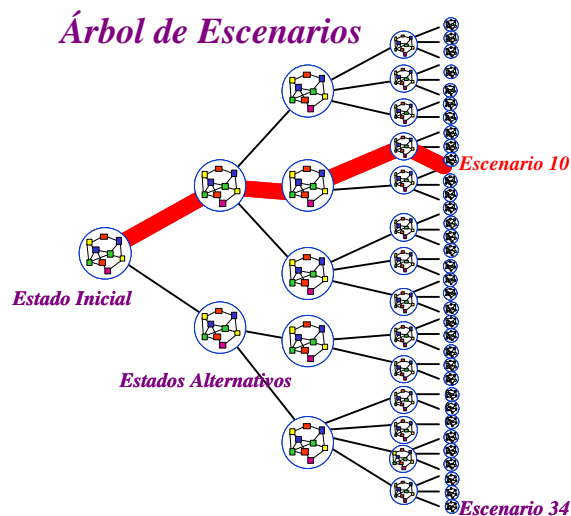


Figura 3: Ejemplo de árbol de escenarios.

Según [11], “el método de escenarios tiene por objeto definir un estado futuro de un sistema conocido actualmente (por lo menos parcialmente) e indicar los distintos procesos que permiten pasar del estado presente a la imagen futura.” Esta visión de escenarios ha servido para coordinar la visión del usuario final con la del consorcio de desarrollo del Proyecto Schumann.

2.2 Parámetros y Variables sujetos a Incertidumbre.

Los *parámetros o variables* sujetos a *Incetidumbre* que se han tomado son los siguientes:

- Demanda externa por fuente y periodo, y demanda externa no servida.
- Disponibilidad en la obtención de los componentes en los modos estándar y expeditivo por componente y periodo.
- Costes unitarios de obtención de los componentes y ensamblajes (modo estándar, y expeditivo) por componente y período.
- Coste unitario de producción (modo estándar) por producto y periodo.
- Segmento de Periodos Efectivos (EPS*) por componente y producto.

2.3 Distribuciones de Probabilidad.

El Proyecto Schumann considera la distribución de probabilidad de los parámetros como parte de la definición del modelo, lo que requiere:

- Un conocimiento de gran cantidad de datos históricos
- Una distribución de probabilidad asumida o estimada
- El conocimiento de ciertos tipos de relaciones entre las variables
- Conocimientos sobre complicados algoritmos para resolver el problema
- Conocimientos de teoría estadística

2.4 Metodología para el Análisis y Definición de Escenarios.

Para el desarrollo del proyecto Schumann se estableció una *Metodología* para el análisis y definición de Escenarios. Dicha metodología se caracterizaba por:

- Incertidumbre ligada a un conjunto de parámetros que influirán en mayor o menor medida en el resultado final
- Evolución de factores impredecibles
- Parámetros con carácter aleatorio que pueden desembocar en situaciones imprevistas

Tal y como se comentaba anteriormente, el crecimiento de la incertidumbre para horizontes de planificación lejanos, implica mayores espectro para todos los factores. Esto unido a la explosión combinatoria, determina la necesidad de un análisis de relieve para seleccionar y acotar el conjunto de Escenarios a estudiar. Por tanto, para la configuración del Sistema se ha considerado necesario un *Análisis detallado del Sistema*. Como en todo proceso de modelización, en este caso también se realizaron hipótesis simplificadoras según un grado de simplificación y criterio del modelizador. Este análisis del sistema se realizó atendiendo a la gran interrelación existente entre el Modelo y el Algoritmo Matemático.

Fue necesario también, la elaboración de un procedimiento para la recopilación de la información (labores de campo), basado fundamentalmente en entrevistas, y en la comprobación de la veracidad de la información. Para garantizar la integridad de los datos se realizó una herramienta software donde almacenar de forma estructurada y orientada al modelo la información recopilada. Esta herramienta supuso un verdadero puente entre los sistemas de información del usuario, la información proporcionada y el sistema desarrollado por el consorcio Schumann.

El proceso de modelización requirió también del Análisis de los factores configurativos, atendiendo principalmente a:

1. Naturaleza de las variables. ¿de qué tipo son?
2. Su comportamiento ante evoluciones del entorno y el sistema.
3. La interrelación de unas con otras.
4. Relaciones de dependencia o independencia.

5. Acotar el rango de posibles valores.

Este proceso de análisis de los factores configurativos se considera como un paso fundamental para:

- Trasladar al modelo la naturaleza, comportamiento y relación de variables presente en el sistema.
- Acotar y simplificar la explosión combinatoria.
- Garantizar la integridad de los estados y de los escenarios generados.

Además de esto se tuvo que definir el horizonte de planificación. Tal y como se ha comentado anteriormente, esto se realizó atendiendo a las necesidades del usuario, y por tanto facilitando, no sólo la introducción de la información, sino la interpretación y análisis de los resultados.

2.5 Generación de Escenarios.

En cuanto a la *Generación de Escenarios* se han considerado cuatro elementos fundamentales:

1. Cualitativo: El elemento cualitativo hace uso de métodos cualitativos (Brainstorming, Lateral Thinking, M. Delphi, Analogías, Análisis Morfológico, etc.) y está especialmente indicado para el análisis inicial del sistema y la modelización (anteriormente citado), estudio y determinación de los parámetros y variables configurativas del modelo.

2. Cuantitativo: El elemento cuantitativo es el responsable de generar a partir de un estado inicial, todos los posibles estados futuros. El elemento cuantitativo está estrechamente relacionado con los elementos tiempo y probabilidad y tiene presente algunos aspectos cualitativos de las variables para garantizar la factibilidad e integridad de los datos generados.

3. Tiempo: elemento clave de la generación de escenarios. Se debe prestar especial atención a la definición del horizonte de planificación, la división en períodos del horizonte, y el comportamiento de algunas variables y parámetros en función del tiempo.

4. Probabilidad: en la que puede darse un determinado suceso o estado de las variables. Este elemento está relacionado sobretodo con el elemento tiempo y cuantitativo. En este punto se debe distinguir entre el Escenario Tendencial y el Escenario Contrastado [12]

Tendencial: Es el camino más probable, en todos aquellos momentos en los que haya que proceder a una elección. Es en realidad el escenario más probable (de Referencia).

Contrastado: Es el camino menos probable, pero cuyo conocimiento puede ser útil a fin de apreciar posibles peligros.

Hay que recordar que la prospectiva no busca seleccionar el estado más probable como base del estudio de estrategias, sino que pretende hacer un inventario de los distintos estados posibles para, reducir el riesgo de crisis. En cuanto a la generación de escenarios, el CIGIP (Centro de Investigación en Gestión e Ingeniería de Producción) propuso, en el marco del proyecto Schumann diferentes métodos de Generación:

- a. Generación por Evolución: donde se parte de un conjunto de datos históricos y con técnicas de previsión se establece una tendencia para cada variable. Posteriormente a

esta línea base o tendencial se le añade para cada período la función incertidumbre. La horquilla de incertidumbre es creciente con el tiempo.

- b. Generación en base a Planificación: en este caso la línea base no es una tendencia prevista sino el resultado de unos objetivos (p.e. planificación agregada). A continuación se establece la función incertidumbre como posibles desviaciones sobre lo planificado. Esta función es creciente en el tiempo y establece una horquilla creciente de posibles desviaciones sobre el plan. A diferencia del método anterior, tiene la ventaja de no requerir de la recopilación y procesamiento de datos históricos; requiere sin embargo, del resultado de un proceso de planificación.
- c. Generación por Comportamiento: en este método cada variable tiene asociado un comportamiento (resultado del análisis cualitativo) que repercute en su valor (elemento cuantitativo). Para cada período el sistema evoluciona atendiendo al estado anterior y a los comportamientos asociados para cada variable. El comportamiento se entiende como una función difusa con probabilidades asociadas. A medida que crece el horizonte temporal, el comportamiento se hace más difuso introduciendo así el factor incertidumbre. El análisis cualitativo de las variables (naturaleza, interrelaciones y comportamiento) se presenta como fundamental para este método de generación pero a la vez como mayor inconveniente dado el tiempo necesario.

Finalmente para la conexión con la programación estocástica, se efectuó una Generación Combinada de Escenarios y un Modelo para Generar Escenarios [5] de manera automática basado en Neural Networks & MonteCarlo Method (IBERINCO).

La definición del árbol de Escenarios utilizada en el Proyecto; se caracteriza porque el usuario puede definir un escenario básico y la variabilidad de los parámetros asociados. A partir de éste, el sistema informático crea (utilizando el método citado [5]) el árbol de escenarios. Una vez resuelto el problema [4], el sistema muestra los resultados de manera que facilite al usuario la selección de los escenarios más interesantes (Figura 4) para su evaluación y análisis.

De la totalidad de posibles escenarios, se seleccionará un conjunto. Con objeto de acotar el problema y simplificar su análisis. El método de selección de escenarios deberá buscar no sólo los escenarios probables, sino también los escenarios interesantes. “Un escenario de fallo de servicio por parte del proveedor puede ser poco probable pero interesante. Si ocurre puede colocar a la empresa en un posicionamiento complicado e inesperado.”

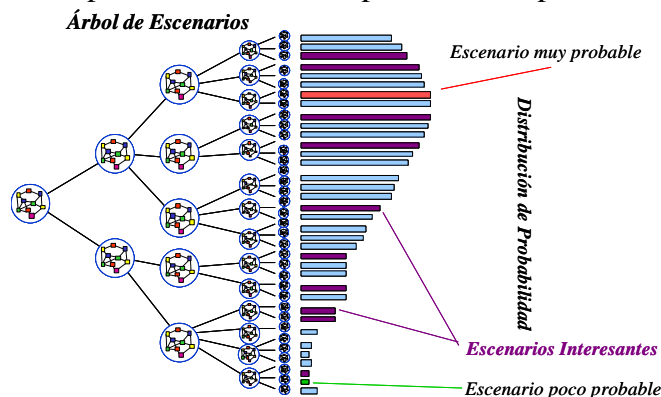


Figura 4: Escenarios probables vs escenarios interesantes.

3 Conclusiones.

Este artículo muestra la importancia de la Generación y Análisis de Escenarios como parte del método de resolución de problemas de Gestión de la Cadena de Suministro ligados a Incertidumbre, en entorno MADS y en el marco del Proyecto Schumann.

También se muestra la metodología de trabajo para la modelización del entorno donde actúa la planificación, el estudio de variables y parámetros, y la definición de un método de Generación de Escenarios.

La definición del árbol de Escenarios utilizada en el Proyecto; donde el usuario define un escenario básico y la variabilidad de los parámetros, creando el árbol de escenarios el sistema informático: se muestra como método apropiado que facilita al usuario la Selección de los Escenarios más interesantes, no sólo los más probables.

Finalmente se efectuó la definición del *Conjunto de Escenarios* en la *Empresa piloto (sector automóvil)*, lo que permitió alcanzar el *objetivo último de Proyecto*, aprobado en el Review Meeting final de Septiembre de 2.000.

Referencias

- [1] Lario F.C., Escudero L., Pastor S., García J.P., Rodriguez A. (1999): “La optimización de la Cadena de Suministro bajo incertidumbre: el Proyecto Schumann”, III Jornadas de Ingeniería de Organización. Barcelona, 16-17 de septiembre.
- [2] Lario F.C., Escudero L., Pastor S., Garcia J.P. (1999): “Supply Chain Management planning & optimisation under uncertainty : modelling and solving applied to a company in the automotives sector.”Advanced Computer Systems (ACS’99), 18-19 September 1999, Szczecin, Poland.
- [3] SCHUMANN (1997), “Full Proposal, August 1997. Supply Chain Uncertainty Management Network Optimization”. European Commission.
- [4] SCHUMANN CONSORTIUM (1998), “Supply Chain management Model Specification. (Deliverable D2.3).European Commission . DGIII Industry.
- [5] SCHUMANN CONSORTIUM (1999), “Implementation of the Scenario Generation Scheme” .(Deliverable D4.4). European Commission . DGIII Industry.
- [6] Escudero, L. F. Kamesam P.V. (1965). “On solving stochastic production Planning problems via scenario modelling”. TOP 3
- [7] Escudero, L. F. Kamesam P.V. King A.J. Wets J-B (1993) “Production Planning problems via scenario modelling” , Annals of Operations research 43.
- [8] Ringland G., (1998) “Scenario Planning. Managing for the future”, Wiley.
- [9] Van Der Heijden, K., (1996) “Scenarios: the art of strategic conversation”, Wiley.
- [10] Kahn H., Wiener A. J., (1967) “The Year 2000”, NY Macmillan.
- [11] Saint Paul R., Teniere Buchot P.F., (1974) “Innovation et évaluation technologiques: sélection des projets, méthodes et prévisions”, Enterprise Moderne d’Editon.
- [12] Godet M., (1985) “Prospective et planification stratégique”, Economica.