

# MODELAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INCERTIDUMBRE PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO: CASO APLICADO EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

**Artículo de Grado**

**PRESENTADO POR:**

**CARLOS JAVIER AMÉZQUITA CRISTANCHO**



**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA EN LOGÍSTICA INTEGRAL**  
**Bogotá, D.C.**  
**2016**

# Modelamiento y Análisis de la Incertidumbre Para la Toma de Decisiones en la Administración de la Cadena de Suministro: Caso Aplicado en la Industria Automotriz. Supply Chain Management under Uncertainty Conditions on Automotive Industry

Carlos J. Amézquita C  
Especialización en Gerencia de logística Integral  
Universidad Militar Nueva Granada  
u9500709@unimilitar.edu.co

**Abstract**— Uncertainty is inherent in logistics processes and their study is of the utmost importance because of its impact on the performance of the entire supply chain. Applying Theory of Markov Chains, allows mathematically describe the uncertainty from a global perspective representing the cross-relationship among several logistics activities which is an important tool for decision making in Supply Chain Management.

**keywords**— Uncertainty, Markov, Supply Chain, Logistics

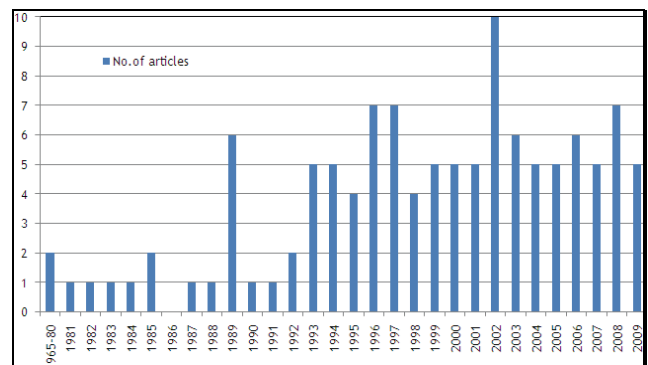
**Resumen**— La incertidumbre es inherente a los procesos logísticos y su estudio es un aspecto de la mayor importancia debido a su impacto en el desempeño de toda la cadena de suministro. La teoría de cadenas de Markov permite describir matemáticamente la incertidumbre desde una perspectiva global que represente la interrelación cruzada existente entre varias actividades lo cual es una importante herramienta de apoyo para la toma de decisiones.

**Palabras clave**— Incertidumbre, Cadena de suministro, Logística, Markov

## I. INTRODUCCIÓN

Las empresas deben estar en condiciones de responder de forma ágil y eficiente a la incertidumbre debido al impacto que ésta tiene en el desempeño de la cadena de suministro [1], [3] pero para lograrlo, los responsables de la administración de la cadena de suministro de las empresas necesitan de un conjunto de herramientas metodológicas adecuadas las cuales aún se encuentran en etapa de desarrollo debido a que la incertidumbre, aunque siempre ha estado presente en los procesos logísticos, no ha sido lo suficientemente abordada como tema de investigación tal y como se puede evidenciar en la Fig. 1 donde se muestran el número de artículos publicados en revistas especializadas (período comprendido entre 1965 – 2009) a partir de un estudio realizado en el año 2010 titulado “A Review of Manufacturing Resources Planning Models Under Different Uncertainties: State of the Art and Future Directions” [1].

Fig. 1: Número de artículos publicados entre 1965 y 2009



Mediante la teoría de cadenas de Markov se aborda la incertidumbre de la cadena de suministro en una industria tan dinámica y competitiva como es la automotriz tal y como se puede observar en la Fig. 2 donde se representan algunas de las más importantes industrias alrededor del mundo, clasificadas en cuadrantes de acuerdo a su nivel de incertidumbre: El eje vertical corresponde a la incertidumbre en la demanda (volatilidad) mientras que el Eje horizontal corresponde a la incertidumbre tecnológica (calculada a partir de la inversión en innovación y desarrollo sobre el total de las ventas en un periodo de 10 años); En el cuadrante inferior izquierdo se localizan las industrias con menor nivel de incertidumbre mientras que en el cuadrante derecho se localizan las industrias que como la automotriz, tienen un mayor nivel de incertidumbre asociado.

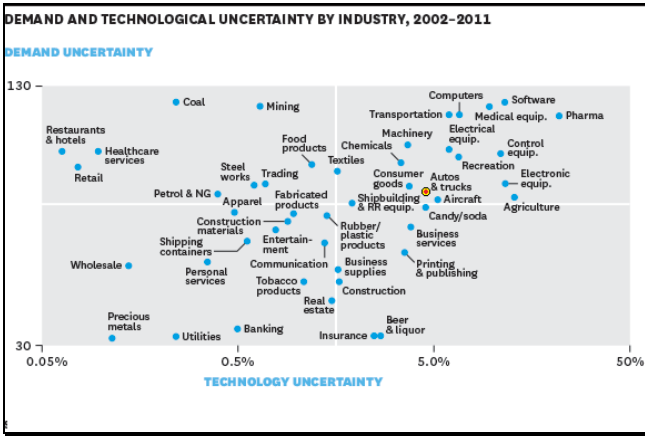


Fig. 2: Nivel de incertidumbre por Industria

(Imagen tomada de: <https://hbr.org/2014/09/the-industries-plagued-by-the-most-uncertainty>)

Una cadena de Markov es la representación matemática de un proceso estocástico (aleatorio) caracterizado por un conjunto de etapas o estados finitos numerables (S), en donde la probabilidad de transición de un estado a otro (P) depende únicamente del estado actual.

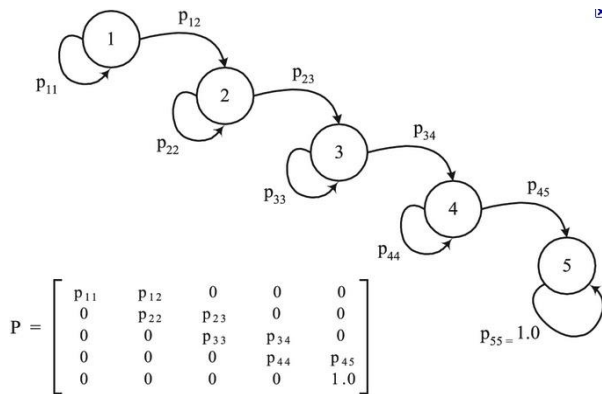


Fig. 3: Cadena de Markov

Imagen tomada de: [http://www.cc.gatech.edu/~sbrahmbh/academics/ese650\\_hmm.jpg](http://www.cc.gatech.edu/~sbrahmbh/academics/ese650_hmm.jpg)

Lo que caracteriza a las cadenas de Markov respecto a otros modelos estocásticos es que permite describir matemáticamente la incertidumbre desde una perspectiva global y no solamente focalizada en un proceso específico o en actividades adyacentes [7], esto significa que se puede modelar la interrelación cruzada existente entre varias actividades de la cadena de suministro lo cual es una importante herramienta de apoyo para la toma de decisiones [7].

## II. CASO DE ESTUDIO

Para mostrar la aplicación de las cadenas de Markov en un caso práctico, se modelara el funcionamiento de la red de distribución de una empresa multinacional Mexicana del sector de autopartes con más de 30 años de presencia en Colombia y que fabrica vidrios de seguridad (parabrisas y ventanas) para el sector automotriz. Su planta de

producción se encuentra localizada en la ciudad de Chía – Cundinamarca y tiene su centro de distribución ubicado en un parque industrial en las afueras de la ciudad (Siberia) desde donde abastece a un punto de venta e instalación ubicado en la ciudad de Bogotá.

En el punto de venta e instalación se atienden a dos tipos de clientes: propietarios de vehículos e instaladores particulares. Los propietarios de vehículos, tanto particulares como de servicio público se acercan con el vehículo para que el vidrio sea reemplazado directamente en el punto de venta mientras que en el caso de los instaladores, solicitan el vidrio telefónicamente para que éste sea trasladado hasta sus propias instalaciones donde ellos se encargan de realizar el respectivo reemplazo.

Debido a la gran variedad de marcas y modelos de vehículos existentes, resulta ineficiente fabricar y almacenar productos de cada marca y modelo, por lo que se adoptó una política de inventarios consistente en calcular el nivel de inventario requerido para alcanzar un nivel de servicio adecuado para tipo de producto y zona geográfica.

### A. Metodología utilizada

Modelar una red de distribución como cadena de Markov consiste en:

- Identificar los estados o elementos que intervienen en el proceso a analizar.
- Determinar la probabilidad de transición entre etapas
- Elaboración de un grafo representando como nodos cada uno de los elementos (estados) donde los trayectos corresponden a las probabilidades de transición previamente identificadas.
- Organizar las probabilidades en forma matricial
- Identificar los recorridos (lazos cerrados) que se originan en la solicitud de pedido.
- Calcular la probabilidad de cada recorrido como el producto de las probabilidades individuales de cada trayecto.

Debido a que la mayoría de la información utilizada para la construcción del modelo se extrae de información estadística de los indicadores de gestión (niveles de servicio, tiempos de entrega y costos unitarios), es imprescindible la empresa cuente con una estructura básica de indicadores los cuales son necesarios para la correcta administración de los procesos logísticos de cualquier empresa.

### B. Análisis de resultados

Para aplicar la metodología se requiere tener una apropiada comprensión de todo el proceso logístico que es objeto de estudio, por lo que una breve descripción del mismo resulta pertinente:

Del total de las órdenes de pedido recibidas de los clientes (C), en un 22% de los casos no se cuenta con el producto en el punto de venta (Pv) por lo cual es necesario solicitarlo al centro de distribución (A). Del 78% restante de los casos en que si se cuenta con existencias en el inventario, un 45% corresponden a clientes del segmento de Instaladores quienes solicitan se les envíe el producto hasta sus instalaciones, mientras que el 33% corresponde a clientes particulares quienes se acercan en su propio vehículo para que éste sea reparado directamente en el punto de venta.

Del total de solicitudes recibidas por el centro de distribución un 62% corresponden a producto que se

encuentra disponible en inventario de las cuales un 33% es recogido por el transporte del punto de venta, mientras que el 29% es trasladado por los vehículos del centro de distribución; el 3% restante corresponde a casos en que a pesar de que el producto se encontraba disponible en el inventario, este nunca fue enviado al cliente debido a errores que se presentan en el centro de distribución.

Del total de casos en que el centro de distribución no cuenta con el producto en existencias, solamente en un 28% de ellos se aprueba su fabricación una vez evaluada la viabilidad atendiendo a criterios de costo y servicio.

Los elementos que intervienen en el proceso son:

- C: Cliente
- Pv: Punto de Venta
- In: Instalación
- Tpv: Transporte punto de venta
- A: Centro de Distribución
- Ta: Transporte centro de distribución
- F: Fábrica

Las probabilidades de transición entre estados se presentan en la Tabla I donde las filas como las columnas corresponden a cada uno de los elementos de tal forma que la información de cada celda representa la probabilidad de transición (ocurrencia) del evento siguiente a partir del estado actual:

TABLA I  
Matriz de Transición de la Red de Distribución

	C	PV	In	Tpv	A	Ta	F
C	-	100%					
PV			33%	45%	22%		
In	100%						
Tpv	99%	1%					
A				33%	3%	29%	35%
Ta	56,69%		42%		1%		
F						28%	72%

Con la información anterior se procede a elaborar el grafo respectivo (Fig. 4)

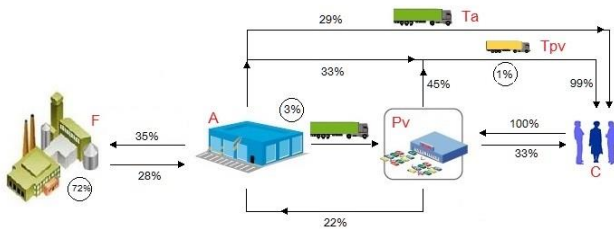


Fig 4 : Grafo de la Red de distribución

(Imagen elaborada por el autor)

Debido a que cada uno de los estados representa procesos logísticos (transporte, procesamiento de órdenes de pedido, almacenamiento o alistamiento de productos), éstos tienen un tiempo de ejecución y costo asociado por lo cual es necesario, dependiendo del nivel de profundidad y alcance deseado, determinar cuales de estos procesos y subprocesos son relevantes y cuantificarlos. En la Tabla II se consignan la información de tiempo (en horas) y costo unitario (en pesos) de la red de distribución representada en la fig. 4

TABLA II  
Tiempos y Costos de la Red de Distribución

Nodo de Origen	Nodo de destino	Descripción	Tiempo (horas)	Costo (pesos)
PV	In	Instalación	2,0	6.000
PV	Tpv	Alistamiento de producto	0,4	3.750
Tpv	C	Transporte hasta el cliente	3,0	4.500
A	Tpv	Recogida en el centro de distribución	4,0	3.500
A	Ta	Alistamiento de producto	0,5	2.800
Ta	C	Transporte a las instalaciones del cliente	4,0	2.000
Ta	In	Transporte hasta el punto de venta	3,0	4.500
F	Ta	Fabricación del producto	128,0	4.500

Los recorridos o secuencias de eventos posibles a partir de la recepción de una orden de pedido son:

TABLA III

Secuencias de eventos posibles a partir de una orden de pedido

No.	Secuencia
1	C-PV-In-C
2	C-PV-Tpv-C
3	C-PV-A-Tpv-C
4	C-PV-A-Ta-C
5	C-PV-A-Ta-In-C
6	C-PV-A-F-Ta-C
7	C-PV-A-F-Ta-In-C

La probabilidad total de cada secuencia se calcula como el producto de las probabilidades de cada trayecto. Así por ejemplo para la secuencia **C-Pv-A-Tpv-C** se tiene:

$$\text{Probabilidad trayecto [C - Pv]} = 100\%$$

$$\text{Probabilidad trayecto [Pv - A]} = 22\%$$

$$\text{Probabilidad trayecto [A - Tpv]} = 33\%$$

$$\text{Probabilidad trayecto [Tpv - C]} = 99\%$$

Por lo tanto la probabilidad de toda la secuencia es:

$$1 \times 0,22 \times 0,33 \times 0,99 = 0,072 = 7,2\%$$

El tiempo total de la misma secuencia se calcula como la suma de los tiempos de cada trayecto:

$$0 + 0 + 4 + 3 = 7 \text{ horas}$$

El costo total es la suma de los costos individuales:

$$0 + 0 + 3.500 + 4.500 = \$ 8.000$$

Los datos correspondientes a todas las secuencias se encuentran consignados en la Tabla IV:

TABLA IV

Probabilidad, Tiempo y Costo por Secuencia

No.	Secuencia	Prob.	Tiempo (hrs)	Costo (pesos)
1	C-PV-In-C	33,0%	2,0	6.000
2	C-PV-Tpv-C	44,6%	3,4	8.250
3	C-PV-A-Tpv-C	7,2%	7,0	8.000
4	C-PV-A-Ta-C	3,6%	4,5	4.800
5	C-PV-A-Ta-In-C	2,7%	3,5	7.300
6	C-PV-A-F-Ta-C	1,2%	132,0	6.500
7	C-PV-A-F-Ta-In-C	0,9%	131,0	9.000
		<b>93,2%</b>	<b>5,7</b>	<b>6.763</b>

Del 93,2% que corresponde al índice de servicio, un 77,6% corresponde al producto disponible en el punto de venta, un 13,5% adicional suministrado por el centro de distribución y 2.1% por la planta de producción.

Aunque el tiempo promedio de servicio es de 5,7 horas, el 91,1% de los casos son atendidos en menos de 3 horas.

El costo unitario promedio del proceso de distribución es de \$6.763 el cual no solo es difícil de bajar sino que por el contrario se espera que suba debido a que el segmento en donde existe mayor oportunidad de crecimiento es el que corresponde a clientes de instalación cuyo costo de distribución es de \$8.250.

### III. CONCLUSIONES

Los responsables de la cadena de suministro necesitan de herramientas metodológicas que le permitan profundizar en la comprensión de los procesos logísticos. La teoría de cadenas de Markov es una metodología innovadora que permite identificar y evaluar el impacto que en términos de costo y servicio tiene la incertidumbre en el desempeño global de la cadena y de esa forma extraer importantes conclusiones que apoyen la toma de decisiones alienadas con los objetivos estratégicos de la empresa.

### REFERENCIAS

- [1] Wazed M.A, Ashmed, S.Nukman, Y, 2010, "A Review of Manufacturing Resources Planning Models Under Different Uncertainties: State of the Art and Future Directions", *South African Journal of Industrial Engineering* May 2010 Vol 21.
- [2] Nilsson, F., 2007, "Approaching Logistics - Exploring Complexity Approaches to Move Beyond Systems Approach", *19th Annual NOFOMA Conference*.
- [3] Ballou, R., "Logística. Administración de la Cadena de Suministro", México: Pearson Educación, 2004.
- [4] Dyer, J., Furr, N., Lefrandt, C., 2014, "The Industries Plagued by the Most Uncertainty", *Harvard Business Review*, September 2014, <https://hbr.org/2014/09/the-industries-plagued-by-the-most-uncertainty>.
- [5] Pfohl, H., Kohler H., 2010, "State of art in Supply Chain Risk Management Research", Springer-Verlag March 2010.
- [6] Christopher, M. "Logistics and Supply Chain Management: Creating value-adding Networks", Great Britain: Pearson Education, 2011.
- [7] Tilokavichai, V., Sophatsathit, P., Chandrachai, A., 2012, "Innovative Logistics Management under Uncertainty using Markov Model", *Information and Knowledge Management Journal*, 2012, Vol 2, No.5
- [8] Prawda, J., "Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones: Modelos estocásticos", México: Editorial Limusa, 1999.

- [9] Serfozo, R., 2009, "Basics of Stochastic Processes", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Tomado de [http://www.stat.yale.edu/~jtc5/251/readings/Basics of Applied Stochastic Processes\\_Serfozo.pdf](http://www.stat.yale.edu/~jtc5/251/readings/Basics%20of%20Applied%20Stochastic%20Processes_Serfozo.pdf)
- [10] Mentzer, J., Kahn, K., 1995, "A Framework of Logistics Research", *Journal of Business Logistics*, Vol. 16, No.1, 1995.
- [11] Patil, D., Shrotri, A., Dandekar, A., 2012, "Management of Uncertainty In Supply Chain", *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, May 2012, Volume 2, Issue 5.
- [12] Chopra, S., Meindl, P., "Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation", USA: Pearson Education, 2015.