IDEAS EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

Cooperación en la cadena de suministro mediante PAR y reducción de variabilidad

Supply chain cooperation through ANP and variability reduction

U. Mercado-Valenzuela[1] *, M. S. Hernández-Bonilla[1], O. Cruz-Mejia[1]
(*ulisesmv@comunidad.unam.mx)

Recibido: 05 de junio de 2026 Aceptado: 10 de agosto de 2026

Resumen

La cooperación en la cadena de suministro es un factor clave para mejorar el desempeño organizacional en entornos caracterizados por incertidumbre y volatilidad [1]. Sin embargo, la variabilidad del comportamiento, reflejada en prácticas como el agrupamiento de pedidos, errores de pronóstico, decisiones oportunistas y variabilidad en los tiempos de entrega, continúa generando inconsistencias tales como el efecto látigo, altos costos operativos y bajos niveles de servicio. Este estudio propone un marco híbrido que integra el Proceso Analítico en Red **(PAR)** y la **simulación** para evaluar cómo la reducción acordada de la variabilidad del comportamiento puede fortalecer la cooperación y mejorar el desempeño de la cadena de suministro.

La metodología identifica los principales factores de variabilidad y evalúa mecanismos de cooperación como el intercambio de información, contratos de incentivos, generación de confianza y toma conjunta de decisiones. El método PAR se utiliza para priorizar dichos mecanismos considerando las interdependencias entre factores conductuales, estrategias de cooperación y métricas de desempeño. Posteriormente, se desarrolla un modelo de simulación de eventos discretos para validar los resultados bajo condiciones estocásticas de demanda y tiempos de entrega.

Los resultados muestran que el intercambio de información y la planeación colaborativa son los mecanismos más efectivos para reducir la variabilidad y mejorar indicadores como nivel de servicio, costos totales, efecto látigo y estabilidad de tiempos de entrega. Además, los análisis de sensibilidad y Monte Carlo confirman la robustez del modelo propuesto.

Palabras clave: Cooperación en la Cadena de Suministro, Variabilidad del Comportamiento, Proceso Analítico de Redes (PAR)

[1]Facultad de Estudios Superiores Aragón, Universidad Nacional Autónoma de México, Nezahualcóyotl, Estado de México, México.

Abstract

Supply chain cooperation is a key factor in improving organizational performance in environments characterized by uncertainty and volatility. However, behavioral variability, reflected in practices such as order bundling, forecasting errors, opportunistic decisions, and variability in delivery times, continues to generate inefficiencies such as the bullwhip effect, high operating costs, and low service levels. This study proposes a hybrid framework that integrates the Analytic Network Process (ANP) and simulation to evaluate how the agreed-upon reduction of behavioral variability can strengthen cooperation and improve supply chain performance.

The methodology identifies the main drivers of variability and evaluates cooperation mechanisms such as information sharing, incentive contracts, trust building, and joint decision-making. The ANP method is used to prioritize these mechanisms, considering the interdependencies between behavioral factors, cooperation strategies, and performance metrics. Subsequently, a discrete-event simulation model is developed to validate the results under stochastic demand and delivery time conditions.

The results show that information sharing and collaborative planning are the most effective mechanisms for reducing variability and improving indicators such as service level, total costs, bullwhip effect, and delivery time stability. Furthermore, sensitivity and Monte Carlo analyses confirm the robustness of the proposed model.

Keywords: Analytical Network Process (ANP), Behavioral Variability, Supply Chain Cooperation

Introducción

Las cadenas de suministro globales están cada vez más expuestas a la volatilidad, la incertidumbre, la complejidad y la ambigüedad [1]. En este contexto, la cooperación entre los socios de la cadena de suministro ya no es de carácter opcional, sino básica con la finalidad de obtener estándares aceptables de eficiencia, resiliencia y competitividad a largo plazo [2]. Las formas tradicionales de cooperación en la cadena de suministro suelen centrarse en acuerdos contractuales, tecnologías de la información avanzadas y mecanismos de coordinación como la Gestión de Inventario por el Proveedor (GIP) o la Planificación, Previsión y Reabastecimiento Colaborativos (PPRC) [3]. Si bien estas iniciativas han generado beneficios significativos, su implementación frecuentemente se limita a análisis de la variabilidad del comportamiento en la cadena de suministro [4].

De acuerdo con Goudarzi et al. [5] la variabilidad del comportamiento es un indicador evidente de las fluctuaciones en los procesos de la cadena de suministro que no son originados en incertidumbres técnicas o ambientales, sino en acciones y decisiones de los encargados de la cadena de suministro. Estos comportamientos incluyen la agrupación de pedidos, el sesgo en las previsiones, la manipulación

https://doi.org/10.36677/rici.v4i3.28466 ISSN: 2992-7447 Noviembre 2026 - Febrero 2027 págs. 48- 65

estratégica de los plazos de entrega y las prácticas oportunistas orientadas al beneficio individual en lugar del colectivo [6]. Estas prácticas son frecuentes en las cadenas de suministro de múltiples niveles y contribuyen significativamente a ineficiencias como el exceso de inventario, los bajos niveles de servicio y la amplificación de las fluctuaciones de la demanda, un fenómeno conocido como el efecto látigo [7].

El efecto látigo ha sido ampliamente estudiado en la literatura sobre cadenas de suministro, con contribuciones fundamentales de Moreno-Baca et al. [8] y El-Beheiry et al. [9], quienes destacan cómo las reglas de decisión locales y las demoras en el procesamiento de la información generan ineficiencias en todo el sistema. Si bien gran parte de esta investigación se ha centrado en soluciones estructurales y técnicas —como mejores métodos de pronóstico, la reducción de las demoras en la información y la optimización de los procesos logísticos—, de acuerdo con Mohamed & Mandal [10] la variabilidad del comportamiento sigue desempeñando un papel fundamental en la perpetuación del problema.

Por ejemplo, la agrupación de pedidos se produce cuando las empresas acumulan demanda antes de realizar pedidos de reposición, ya sea para lograr economías de escala o para reducir los costos de transacción [11]. Aunque racional desde una perspectiva individual, esta práctica usualmente aumenta la volatilidad de la demanda en las etapas iniciales de la cadena de suministro [12]. De manera similar, la falta de precisión en los pronósticos surge cuando las empresas, intencional o involuntariamente, sesgan sus proyecciones de demanda, a menudo debido a la falta de intercambio de información o a la presión competitiva [13]. El oportunismo, como lo describe Klassen et al. [14], agrava aún más las ineficiencias de la cadena de suministro cuando las empresas actúan en su propio interés, aprovechando las lagunas en los contratos o las asimetrías de información. Finalmente, la variabilidad en los plazos de entrega frecuentemente consecuencia de prácticas de producción o distribución descoordinadas añade mayor inestabilidad a la dinámica de la cadena de suministro.

De acuerdo con Oyewole et al. [15] abordar la variabilidad del comportamiento requiere más que soluciones tecnológicas; necesita acuerdos entre los socios de la cadena de suministro para reducir o armonizar los comportamientos que generan ineficiencias. Dichos acuerdos pueden adoptar diversas formas:

- Intercambio de información, mediante el cual los socios intercambian pronósticos, datos de puntos de venta y niveles de inventario para armonizar las decisiones.
- Contratos de incentivos, incluidos los de reparto de ingresos, recompra o flexibilidad de cantidad, que armonizan los intereses económicos entre las empresas.
- Acuerdos que fomentan la confianza, como las alianzas a largo plazo y los acuerdos de reparto de riesgos, que reducen el comportamiento oportunista.

- Mecanismos de toma de decisiones conjuntas, como el CPFR, que institucionalizan la planificación colaborativa en múltiples niveles.

Si bien cada uno de estos mecanismos se ha analizado ampliamente en la literatura, su impacto combinado en la reducción de la variabilidad del comportamiento sigue sin explorarse lo suficiente. Los estudios existentes suelen examinarlos de forma aislada, sin lograr capturar las interdependencias entre las estrategias de cooperación, los factores de comportamiento y los resultados de desempeño.

Dada la complejidad y las interdependencias involucradas, el análisis de decisiones multicriterio (ADMC) da un enfoque de mayor nivel que evalúa de forma más atingente las estrategias de cooperación [16]. El Proceso Analítico Jerárquico (PAJ), desarrollado por Saaty [17], se ha extendido de forma generalizada a los diversos problemas de la toma de decisiones en la cadena de suministro. Sin embargo, el PAJ presupone independencia entre criterios y alternativas, una suposición que no encaja con el contexto de la cooperación en la cadena de suministro [18]. Los mecanismos de cooperación, los factores de comportamiento y las métricas de desempeño son inherentemente interdependientes; Por ejemplo, la mejora en los niveles de servicio puede reforzar la confianza, lo que a su vez fortalece la cooperación.

Para abordar estas interdependencias, este estudio utiliza el Proceso Analítico de Redes (PAR), una extensión del Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) que permite desarrollar bucles de retroalimentación y crea un marco para interacciones complejas. El PAR ha sido aplicado con éxito en áreas como la selección de proveedores, la gestión de riesgos y la estrategia logística, pero su aplicación a la cooperación en la cadena de suministro que involucre la reducción de la variabilidad del comportamiento sigue siendo escasa [19]. El modelado de las interdependencias entre mecanismos de cooperación no reduce por sí mismo la variabilidad del comportamiento; sin embargo, permite identificar qué mecanismos tienen mayor influencia potencial sobre los factores que generan dicha variabilidad. Con base en esta priorización, es posible orientar estrategias de intervención, tales como intercambio de información, toma conjunta de decisiones, contratos de incentivos y construcción de confianza.

En este sentido PAR ofrece información de gran valía sobre como establecer prioridades, su información descansa fundamentalmente en el juicio de expertos o comparaciones pareadas, lo que puede estar sujeto a sesgos importantes. Con la finalidad de obtener un resultado de mayor robustez, este estudio complementa el PAR con un análisis basado en la simulación. La simulación permite realizar pruebas dinámicas de estrategias cooperativas en ambientes controlados, lo cual permitirá reflejar la naturaleza estocástica de la demanda, los plazos de entrega y la variabilidad del comportamiento [20]. Al tener escenarios referenciados y cooperativos, la simulación permite obtener datos cuantitativos sobre las mejoras del rendimiento asociadas a cada estrategia en lo particular.

La integración de PAR y simulación permite crear una metodología hibrida; PAR dirige la selección

https://doi.org/10.36677/rici.v4i3.28466 ISSN: 2992-7447 Noviembre 2026 - Febrero 2027 págs. 48- 65

y priorización de los mecanismos de cooperación, mientras que la simulación valida y cuantifica su impacto. Esta aproximación dual responde a la necesidad intrínseca de tener un sólido soporte a la complejidad de las decisiones y la validación empírica bajo incertidumbre.

Este artículo se estructura de la siguiente forma. La sección 2 describe el proceso metodológico que incluye el diseño del modelo PAR y el esquema de simulación. La sección 3 presenta los resultados de las priorizaciones del PAR y los experimentos de simulación. En la sección 4 se discuten las implicaciones de los hallazgos teóricos y prácticos. Finalmente, la sección 5 describe las conclusiones y se establece líneas de futuras investigaciones.

Materiales y métodos

Este estudio adopta un enfoque metodológico híbrido, que integra el Proceso Analítico de Redes (PAR) con el análisis basado en la simulación. El PAR se utiliza para evaluar los mecanismos de cooperación en condiciones de interdependencia, mientras que la simulación proporciona una validación cuantitativa de su impacto en el desempeño de la cadena de suministro. En conjunto, estos métodos permiten tanto la toma de decisiones estructurada como la verificación empírica en condiciones de incertidumbre.

Para la construcción del modelo PAR se consultó a un grupo de 8 expertos con experiencia en gestión de operaciones, cadena de suministro, planeación de la producción y logística. Los participantes fueron seleccionados considerando su experiencia académica o profesional en procesos de abastecimiento, inventarios, pronóstico de demanda y coordinación interorganizacional. Los juicios fueron obtenidos mediante comparaciones pareadas utilizando la escala fundamental de Saaty. Posteriormente, se calcularon los vectores de prioridad y se verificó la consistencia de las matrices mediante el índice de consistencia (CI) y la razón de consistencia (CR). Se consideraron aceptables las matrices con CR $\leq$ 0.10.

El diseño de esta investigación, básicamente se enfoca en 4 fases:

1. Identificación de los factores: Factores que influyen en la variabilidad del comportamiento, mecanismos de cooperación y métricas de rendimiento.
2. Construcción del modelo PAR: desarrollo de agrupaciones, nodos e interdependencias, seguido de comparaciones por pares.
3. Análisis de supermatrices: desarrollo de ponderaciones de prioridad para mecanismos de cooperación.
4. Experimentos de simulación: validación de los resultados del PAR mediante la evaluación de estrategias de cooperación en un modelo de cadena de suministro de múltiples niveles.

La utilización de este enfoque mixto permite la triangulación metodológica, dándole una solidez robusta en la parte teórica y práctica.

Los factores de variabilidad a considerar se enfocan en 4 criterios que son esenciales en la Cooperación de la Cadena de Suministro (CPR):

- Agrupación de pedidos (BFV_1): consolidación de varios pedidos para lograr economías de escala, lo que incrementa las fluctuaciones de la demanda [5].
- Inexactitud de los pronósticos (BFV_2): errores o sesgos en las previsiones de la demanda debidos a la distorsión de la información o a la falta de intercambio de datos [12].
- Oportunismo (BFV_3): acciones llevadas a cabo por los socios de la cadena de suministro en beneficio propio, a menudo a costa de la eficiencia general [14]
- Variabilidad en los plazos de entrega (BFV_4): incertidumbre en los ciclos de reabastecimiento provocada por retrasos o inconsistencias en la producción y entrega [7].

Este tipo de factores representan el comportamiento de las distintas dimensiones de la variabilidad en la cadena de suministro que se desea disminuir.

La selección de los factores de variabilidad se fundamenta en la literatura sobre comportamiento operativo y coordinación en cadenas de suministro, donde se reconoce que la agrupación de pedidos, los errores de pronóstico, el oportunismo y la variabilidad en los tiempos de entrega inciden en la amplificación de la demanda, la acumulación de inventarios y la pérdida de nivel de servicio. Asimismo, los mecanismos de cooperación seleccionados se relacionan con prácticas ampliamente discutidas en la literatura, como intercambio de información, alineación de incentivos, confianza interorganizacional y planeación colaborativa. Los indicadores de desempeño considerados tales como el nivel de servicio, costo total, efecto látigo y estabilidad del tiempo de entrega permiten evaluar tanto la eficiencia operativa como la estabilidad dinámica del sistema.

Cuatro mecanismos fueron seleccionados con la finalidad de abordar la variabilidad del comportamiento:

1. Intercambio de información (CM_1): intercambio de previsiones, datos de punto de venta (POS) y niveles de inventario para coordinar las decisiones.
2. Contratos de incentivos (CM_2): mecanismos como los acuerdos de recompra o de reparto de ingresos que armonizan los incentivos económicos.

https://doi.org/10.36677/rici.v4i3.28466 ISSN: 2992-7447 Noviembre 2026 - Febrero 2027 págs. 48- 65

3. Fomento de la confianza (CM_3): alianzas a largo plazo y acuerdos de colaboración que reducen los comportamientos oportunistas.
4. Toma de decisiones conjunta (CM_4): mecanismos de planificación colaborativa (por ejemplo, CPFR) que institucionalizan la coordinación.

Se eligieron estos mecanismos debido a que abordan tanto los aspectos técnicos (información, contratos) como los relacionales (confianza, planificación conjunta) de la CPR.

La efectividad de los mecanismos de cooperación se evaluó utilizando cuatro indicadores de desempeño:

- Nivel de servicio (PM_1): medido como tasa de cumplimiento de pedidos.
- Costo total (PM_2): incluye los costos de inventario, faltantes y pedidos.
- Reducción del efecto látigo (PM_3): se define como la relación entre la varianza de los pedidos y la varianza de la demanda.
- Estabilidad de los plazos de entrega (PM_4): variación en los tiempos de cumplimiento de los pedidos.

Estas métricas reflejan tanto la eficiencia operativa como la estabilidad de la cadena de suministro.

Para la construcción del modelo PAR se estructura una supermatriz como la mostrada en la Ec. (1), para realizar comparaciones por pares entre los elementos dentro de cada grupo y entre los distintos grupos.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \alpha_{12} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \frac{1}{\alpha_{12}} & 1 & & \alpha_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{\alpha_{1n}} & \frac{1}{\alpha_{2n}} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

Donde para *n* elementos, los expertos proveen los juicios α_{12} en donde se compara el elemento *i* con el *j*.

De manera corresponsal se adjunta el vector de normalización de pesos que se muestra en la Ec. (2)

$$w_i = \frac{v_i}{\sum_{j=1}^{n} v_j} \tag{2}$$

Donde v_i es el i-esimo componente del eigenvector que corresponde al máximo eigenvalor de $\lambda_{\text{máx}}$

Con la finalidad de verificar la consistencia del juicio experto se aplican las fórmulas Ec. (3) y Ec. (4)

$$CI = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \tag{3}$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{4}$$

Donde *CI* es el índice de consistencia, *CR* la ratio de consistencia y *RI* corresponde al índice aleatorio, considerando que $CR \leq 0.10$ es generalmente aceptable de acuerdo con Saaty [17].

Para la construcción de la supermatriz de PAR no ponderada *W* agrupa todos los vectores de prioridad locales que influencia de cada grupo sobre los demás. La supermatriz ponderada es obtenida mediante la multiplicación de cada bloque por la ponderación del conjunto. Por lo que el límite de la supermatriz se obtiene como se presenta en la Ec. (5).

$$W = \lim_{k \to \infty} W^k \tag{5}$$

Esta matriz da las prioridades globales finales de todos los elementos. Por otro lado, el efecto látigo se define en la Ec. (6).

$$BWR = \frac{Var\,(Q)}{Var\,(D)} \tag{6}$$

En donde, *VAR(Q)* es la variancia de los pedidos de los proveedores, *VAR(D)* es la variancia de la demanda, un valor de *BWR > 1* indica amplificación (efecto látigo). La Ec. (6) se utilizó para calcular la relación del efecto látigo en cada escenario de simulación, comparando la varianza de las órdenes emitidas con la varianza de la demanda observada.

Un elemento que usualmente esta interconectado con el efecto látigo y los inventarios es la tasa de llenado que es una métrica del nivel de servicio y que se representa como (ver Ec. (7)):

$$SL = \frac{Numero\ de\ unidades\ entregadas\ a\ tiempo}{Total\ de\ unidades\ demandadas}\ x\ 100 \tag{7}$$

La Ec. (7) permitió estimar el nivel de servicio como proporción de pedidos atendidos respecto al total de pedidos recibidos.

Que se encuentra estrechamente interconectado al cálculo del costo total de la cadena de suministro (C_{sc}) que se obtiene en la Ec. (8).

https://doi.org/10.36677/rici.v4i3.28466 ISSN: 2992-7447 Noviembre 2026 - Febrero 2027 págs. 48- 65

$$C_{sc} = C_{inv} + C_{ord} + C_{faltante} \tag{8}$$

En donde:

C_{inv} corresponde al costo por llevar inventario,

C_{ord} es el costo por ordenar,

$C_{faltante}$ es el costo tener faltante.

La Ec. (8) se empleó para estimar el costo total relativo de cada escenario, considerando costos de inventario, emisión de pedidos y faltantes.

Esto va acompañado de la medición de la variabilidad en el tiempo de entrega que se mide en la Ec. (9).

$$\sigma_{LT} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(LT_i - \overline{LT}\right)^2} \tag{9}$$

En donde:

LT_i es el tiempo de entrega observado para la orden *i*.

$\overline{LT}$ es el tiempo de entrega promedio.

La Ec. (9) se utilizó para medir la dispersión de los tiempos de entrega observados durante cada réplica.

El modelo simulación de eventos discretos representa una cadena de suministro simplificada de múltiples niveles, integrada por cliente, minorista, distribuidor y proveedor. Las entidades principales del modelo son los pedidos, los lotes de producto y las órdenes de reabastecimiento. Los eventos considerados incluyen generación de demanda, emisión de pedido, recepción de pedido, actualización de inventario, generación de faltantes y entrega del producto. El reloj de simulación se definió en semanas, con un horizonte de 52 semanas por réplica. Las principales variables de estado fueron inventario disponible, pedidos pendientes, demanda observada, órdenes emitidas, tiempo de entrega y costo acumulado. Como se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Prioridad de pesos de los mecanismos de cooperación de PAR.

Elemento	Descripción
Horizonte de simulación	52 semanas
Número de réplicas	30

Elemento	Descripción
Entidades	Pedidos, productos, órdenes de reabastecimiento
Eventos	Llegada de demanda, emisión de orden, recepción, entrega, actualización de inventario
Variables de estado	Inventario, pedidos pendientes, demanda, órdenes, costos, tiempos de entrega
Indicadores de salida	Nivel de servicio, costo total, efecto látigo, variabilidad del tiempo de entrega

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo PAR fue aplicado con la finalidad de evaluar la importancia relativa de los cuatro mecanismos de cooperación en relación con la mitigación de la variabilidad del comportamiento y mejora del desempeño de la cadena de suministro.

Se realizaron comparaciones pareadas entre los grupos identificados, y la supermatriz resultante se normaliza y se eleva a potencias límite para obtener las ponderaciones de prioridad finales. La Tabla 2 presenta la normalización de los pesos de los mecanismos de cooperación.

Tabla 2. Prioridad de pesos de los mecanismos de cooperación de PAR.

Mecanismos de cooperación	Peso PAR	Rango
CM_1	0.35	1
CM_2	0.28	2
CM_3	0.22	3
CM_4	0.15	4

Los resultados indican que CM_1 es el mecanismo mas efectivo para reducir la variabilidad del comportamiento, seguido de CM_2 , mientras que CM_3 y CM_4 tienen una contribución a considerar, no obstante, su relativa importancia es pequeña si la comparamos con las anteriores.

Estos resultados enfatizan la importancia de considerar que la transparencia y colaboración en el manejo de la información puedes traer grandes beneficios en la reducción de la variabilidad.

Por otro lado, se llevó a cabo la simulación experimental con la finalidad de validar los resultados de PAR. Cuatro escenarios fueron probados: (1) Línea base (sin cooperación), (2) intercambio de

https://doi.org/10.36677/rici.v4i3.28466 ISSN: 2992-7447 Noviembre 2026 - Febrero 2027 págs. 48- 65

información, (3) incentivos más intercambio de información, (4) cooperación total. Cada escenario se replicó 30 veces con un horizonte de simulación de 52 semanas, el propósito de realizar las 30 réplicas por escenario tiene el objetivo de obtener una estimación estable de los indicadores de desempeño y reducir el efecto de la variabilidad aleatoria propia del modelo estocástico. Este número de réplicas permite aproximar el comportamiento promedio del sistema y facilita la comparación entre escenarios bajo condiciones homogéneas de simulación, los cuales se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la simulación en distintos escenarios.

Métrica	Línea base	Escenario A: intercambio de la información.	Escenario B: Incentivos + intercambio de información	Escenario C: Cooperación total
PM_1	82.3	90.7	93.5	96.8
PM_2	1.00	0.88	0.82	0.75
PM_3	2.45	1.75	1.75	1.15
PM_4	5.2	3.8	3.8	2.4

Los resultados revelan una mejora progresiva en cuanto los mecanismos de cooperación son introducidos. El intercambio de información solo mejora los niveles de servicio por encima del 8 % y reduce la tasa del efecto látigo en aproximadamente un 29 %. La agregación de los incentivos ayuda de forma importante a mejorar su desempeño, particularmente en la reducción de costos. El escenario relacionado con la cooperación total tiene las mejoras más significativas con niveles de servicio aproximándose al 97 %, costos reducidos en un 25 % y una tasa de efecto látigo casi de la mitad de la línea base.

Los resultados de la simulación son bastante consistentes con la priorización del modelo PAR. El intercambio de información y la toma de decisiones conjunta emergen como los mecanismos más efectivos que mejoran el desempeño de la cadena de suministro, validado por la alta puntuación de sus pesos asignados en el modelo PAR. Los incentivos, aunque son de gran importancia se muestran con un efecto moderado especialmente en la reducción de costos. La construcción de la confianza juega un rol meramente de soporte, pero al parecer no es suficiente para reducir la variabilidad.

La Figura 1 muestra la comparación del desempeño multi-metrico, mediante una gráfica tipo radar que suma los cuatro desempeños desarrollados.

Claramente se muestra que el desempeño se expande, conforme los mecanismos de cooperación se

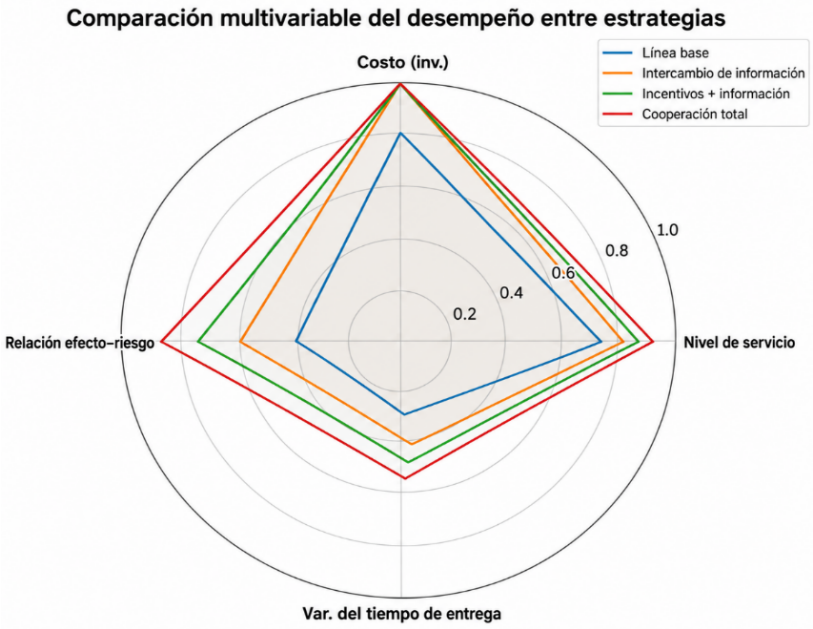


FIGURA 1. *Comparación del desempeño con múltiples métricas en distintos escenarios. Fuente: Elaboración propia.*

incrementan, con la cooperación total dominando todos los escenarios.

Se llevo a cabo un análisis de sensibilidad para medir la robustez del planteamiento, el cual descansa en tres escenarios.

1. Perturbaciones del juicio de PAR. Se alteraron todas las comparaciones por pares en un $\pm 10\,\%$ y un $\pm 20\,\%$ (siguiendo una distribución log-normal y conservando la reciprocidad). Con la utilización de 1000 corridas de simulación Montecarlo, la correlación del rango de Spearman entre las prioridades de la línea base y las prioridades perturbadas que se mantuvieron por encima del 0.95 y el rango de ordenes de los mecanismos que se mantuvo sin cambios en 97.8 % de las corridas. La distribución log-normal se utilizó para perturbar los juicios pareados debido a que garantiza valores positivos y permite conservar la naturaleza multiplicativa de la escala de comparación del PAR. Además, al aplicar las perturbaciones manteniendo la reciprocidad de las matrices, se evita generar comparaciones negativas o inconsistentes con la lógica del método.

2. Sensibilidad a la ponderación de los indicadores. Se llevo a cabo una reponderación de los indicadores de desempeño (Enfoque centrado en el costo: 0.5, 0.2, 0.2, 0.1; enfoque centrado en el servicio: 0.5,0.2,0.1,0.2 para el nivel de servicio, costo, tasa del efecto látigo y tiempo de entrega; Balanceado: 0.3, 0.3, 0.2,0.2). El rango PAR permaneció estable a través de todas las

https://doi.org/10.36677/rici.v4i3.28466 ISSN: 2992-7447 Noviembre 2026 - Febrero 2027 págs. 48- 65

ponderaciones efectuadas; solo se presentaron cambios menores en CM_2 y CM_3 en condiciones en las cuales se considera un sesgo extremo en los costos.

3. Pruebas de estrés estocástica. Se ajusto la variabilidad de la demanda (CV = 0.2, 0.4,0.6) y una variación inesperada en los plazos de entrega del +50 % y se tiene que los escenarios cooperativos muestran una menor elasticidad de los costos ante la variabilidad. La estrategia relacionada con la cooperación total se mantuvo como la dominante a través de todos los indicadores; las ganancias absolutas se redujeron con un CV de 0,6, pero el orden relativo de los escenarios se mantuvo sin cambios.

Las Figuras 2 y 3 representan el análisis de sensibilidad llevado a cabo.

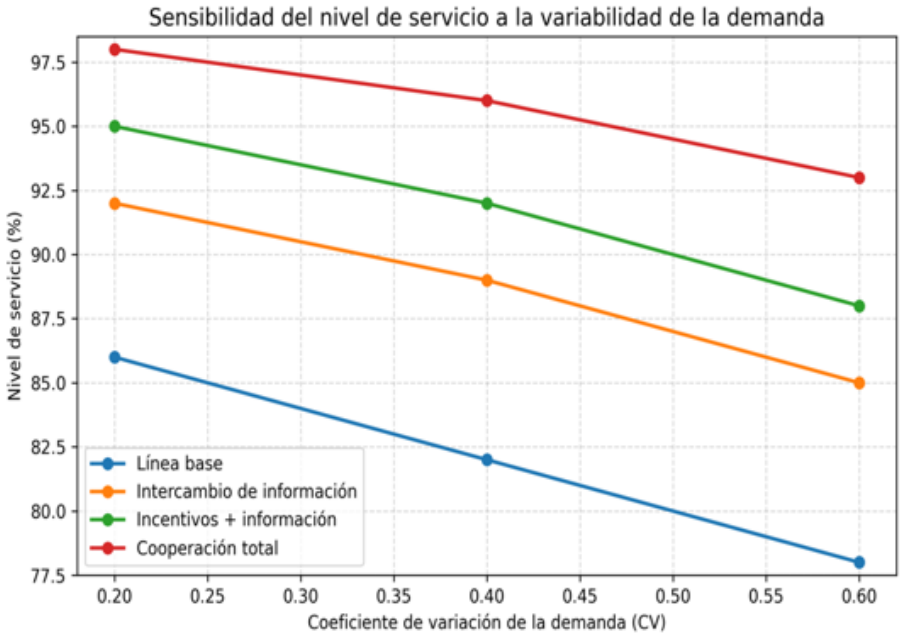


FIGURA 2. *Sensibilidad del nivel de servicio a la variabilidad de la demanda. Fuente: Elaboración propia.*

Se muestra una degradación del nivel de servicio con la demanda; los escenarios cooperativos se encuentran en pendiente descendente e intersección más alta.

Muestra los índices de costo total en una variación del 50 % en los tiempos de entrega; los distintos escenarios cooperativos presentan una menor elasticidad de los costos ante la variabilidad. Las evidencias son consistentes con lo encontrado en estudios previos [20], [21].

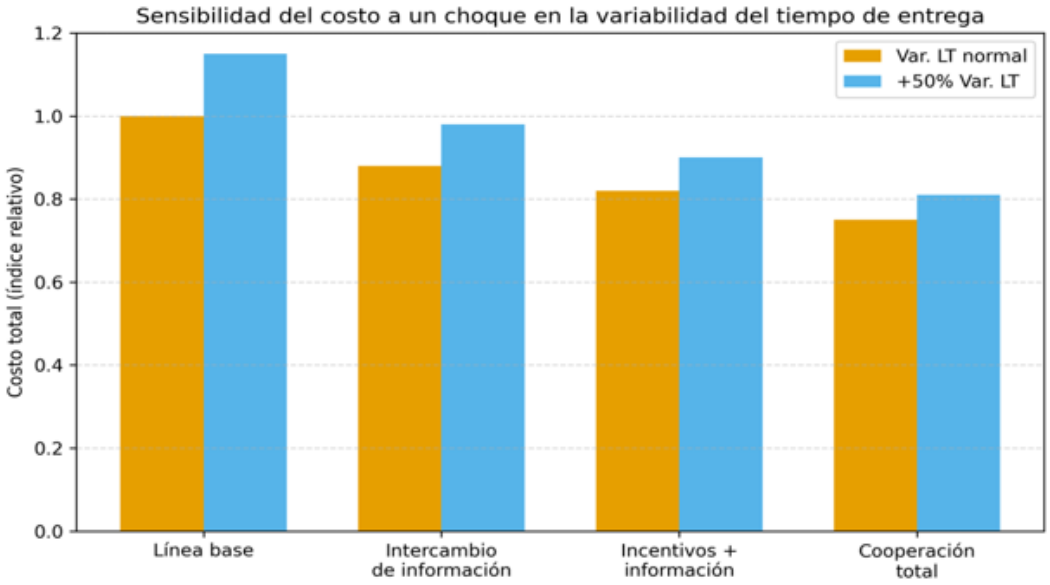


FIGURA 3. *Sensibilidad del costo total ante variabilidad del tiempo de entrega. Fuente: Elaboración propia.*

Discusión

Los resultados obtenidos a través del PAR indican que el intercambio de información es el mecanismo de cooperación más crítico para reducir la variabilidad en la cadena de suministro. Estos hallazgos son consistentes con, los resultados obtenidos en este estudio, en donde es de gran importancia puntualizar que la asimetría en la información y las demoras en la transmisión de datos son las mayores contribuciones al desarrollo del efecto látigo. La mejora en la visibilidad de la demanda y la coordinación de las decisiones de reabastecimiento contribuyen a disminuir la incertidumbre percibida por los actores de la cadena. En este sentido, el intercambio de información no elimina por sí mismo la lotificación de pedidos, pero puede reducir decisiones de acumulación o emisión irregular de órdenes cuando estas se originan en pronósticos incompletos, retrasos de información o falta de coordinación entre eslabones.

El segundo mecanismo asociado se refiere a la toma de decisiones conjunta el cual refuerza la importancia de darle peso a la planeación colaborativa, que involucra diversos factores relacionados con una toma de decisiones sincronizada, la planeación conjunta ayuda a reducir la variabilidad de los tiempos de entrega y el comportamiento oportunista, con lo cual se asegura un comportamiento más estable y una respuesta más coordinada de la cadena de suministro.

Los contratos con incentivos y la construcción de la confianza recibieron una puntuación menor en el análisis PAR. Esto no quiere decir que carezcan de importancia, pero su impacto es indirecto. Los

https://doi.org/10.36677/rici.v4i3.28466 ISSN: 2992-7447 Noviembre 2026 - Febrero 2027 págs. 48- 65

incentivos en los contractos pueden influenciar los costos y proveer una adecuada alineación económica mientras se construye la confianza y esto lleva a una estabilidad relacional en el horizonte de tiempo. Estos mecanismos juegan un rol complementario.

Conclusiones y líneas abiertas

Este estudio pone de manifiesto como la cooperación en la cadena de suministro permite la reducción en la variabilidad de su comportamiento puede ayudar en la mejora de su desempeño. Con la combinación de PAR y la simulación, provee un marco dual de cooperación en la toma de decisiones y la validación empírica de la cooperación de las estrategias involucradas.

Los hallazgos revelan diversos elementos intrínsecos. En primer lugar, el intercambio de la información emergió como el mecanismo de cooperación más crítico, lo cual confirma que la transparencia y la visibilidad son fundamentales para reducir los errores en los lotes de fabricación ordenados y por consecuencia el efecto látigo. En segunda instancia los mecanismos de toma de decisiones conjunta tales como la planeación colaborativa, ayudan a complementar el intercambio de la información mediante la estabilización de los tiempos de entrega y reducción del oportunismo. En tercer lugar, mientras que los contratos con incentivos y los acuerdos de confianza construidos no tienen impacto de forma individual, estos proveen un soporte esencial en el alineamiento de los incentivos económicos. Juntos todos estos mecanismos permiten crear una estrategia cooperativa a distintos niveles que trae como consecuencia una significativa mejora en el nivel de servicio, reducción de costos y estabilidad en el desempeño de la cadena de suministro.

Metodológicamente la integración de PAR y simulación es un aporte de gran valía. PAR captura la interdependencia y el ciclo de retroalimentación entre diversos factores de comportamiento, mecanismos de cooperación, mientras que la simulación da validez a estos elementos mediante condiciones relacionadas con los tiempos de entrega y la demanda. Esta aproximación híbrida evidencia las limitaciones de una sola apreciación cualitativa o cuantitativa y demuestra la importancia de combinar el análisis de decisiones con el modelado del desempeño.

Desde un punto de vista gerencial, el estudio enfatiza que darle importancia al estudio de la variabilidad en el comportamiento es tan importante como implementar soluciones técnicas o contractuales. Los gerentes deben priorizar las soluciones y el intercambio de información en tiempo real, institucionalizar la planeación cooperativa y complementarlos con iniciativas que permitan tener incentivos económicos y construcción de confianza. Este tipo de aproximación de carácter comprensivo es esencial para mitigar la variabilidad y fomentar la cooperación sustentable a largo de toda la cadena de suministro.

Como limitación principal, el estudio se desarrolló a partir de un modelo simplificado de cadena de

suministro, por lo que los resultados deben interpretarse como una aproximación analítica y no como una generalización absoluta para todos los sectores industriales. Asimismo, los pesos derivados del PAR dependen de los juicios expertos considerados, por lo que futuras investigaciones podrían ampliar el número de participantes, incorporar empresas de distintos sectores y contrastar los resultados con datos empíricos longitudinales. También se recomienda profundizar en la calibración d

El modelado de las interdependencias con información operativa real, así como evaluar otros mecanismos de cooperación, tales como contratos flexibles, integración digital y esquemas de colaboración basados en plataformas de datos compartidos.

Declaración de contribución de autores y colaboradores

Ulises Mercado Valenzuela: Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Administración del proyecto, Software, Supervisión, Validación, Visualización, Redacción - Preparación del borrador original, Redacción - Revisión y edición.

María Susana Hernández Bonilla: Análisis formal, Supervisión, Redacción - Revisión y edición.

Oliverio Cruz Mejia: Análisis formal, Supervisión, Redacción - Revisión y edición.

Referencias

[1] d'Artis Kancs, "Uncertainty of supply chains: Risk and ambiguity," *World Econ.*, vol. 47, no. 5, pp. 2009–2033, May 2024, DOI: 10.1111/twec.13534.

[2] P. Fontoura and A. Coelho, "More cooperative ... more competitive? Improving competitiveness by sharing value through the supply chain," *Management Decision*, vol. 60, no. 3, pp. 758–783, Feb. 2022, DOI: 10.1108/MD-09-2020-1225.

[3] C. D. Pedron and F. B. Coelho, "Collaboration in the supply chain: challenges and opportunities of collaborative planning in the healthcare sector," *Gestão & Produção*, vol. 32, 2025, DOI: 10.1590/1806-9649-2025v32e10723.

[4] L. de C. Gomes, "Mitigation of Supply Chain Vulnerability Through Collaborative Planning, Forecasting, and Replenishment (CPFR)," 2022, pp. 95–119. DOI: 10.1007/978-3-031-09183-4_5.

[5] F. S. Goudarzi, P. Bergey, and D. Olaru, "Behavioral operations management and supply chain coordination mechanisms: a systematic review and classification of the literature," *Supply Chain Management: An International Journal*, vol. 28, no. 1, pp. 140–161, Jan. 2023, DOI: 10.1108/SCM-03-2021-0111.

https://doi.org/10.36677/rici.v4i3.28466 ISSN: 2992-7447 Noviembre 2026 - Febrero 2027 págs. 48- 65

[6] A. Manousiadou, "Behavioral theories in inventory management and forecasting: Driving supply chain resilience," *Journal of Supply Chain Management Science*, vol. 5, no. 3–4, pp. 143–158, Dec. 2024, DOI: 10.59490/jscms.2024.7758.

[7] M. Brauch, M. Mohaghegh, and A. Größler, "Causes of the bullwhip effect: a systematic review and categorization of its causes," *Management Research Review*, vol. 47, no. 7, pp. 1127–1149, May 2024, DOI: 10.1108/MRR-05-2023-0392.

[8] F. Moreno-Baca, P. Cano-Olivos, D. Sánchez-Partida, and J.-L. Martínez-Flores, "The Bullwhip Effect and Ripple Effect with Respect to Supply Chain Resilience: Challenges and Opportunities," *Logistics*, vol. 9, no. 2, p. 62, May 2025, DOI: 10.3390/logistics9020062.

[9] M. El-Beheiry, R. Taha, T. Ismail, and Y. Adel, "A novel study of the impact of supply chain complexity on the bullwhip effect," *Journal of Transport and Supply Chain Management*, vol. 18, no. 0, Dec. 2024, DOI: 10.4102/JTSCM.v18i0.1077.

[10] I. Mohammed and J. Mandal, "The Impact of Lead Time Variability on Supply Chain Management," *International Journal of Supply Chain Management*, vol. 8, no. 2, pp. 41–55, Oct. 2024, DOI: 10.47604/ijscm.3075.

[11] Sunil. Chopra and K. Saxena, *Supply chain management: strategy, planning and operation*, 7a. Pearson Education, 2019.

[12] J. Ralfs and G. P. Kiesmüller, "Inventory management with advance demand information and flexible shipment consolidation," *OR Spectrum*, vol. 44, no. 4, pp. 1009–1044, Dec. 2022, DOI: 10.1007/s00291-022-00686-9.

[13] D. Koutsandreas, E. Spiliotis, F. Petropoulos, and V. Assimakopoulos, "On the selection of forecasting accuracy measures," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 73, no. 5, pp. 937–954, May 2022, DOI: 10.1080/01605682.2021.1892464.

[14] R. D. Klassen, A. Shafiq, and P. Fraser Johnson, "Opportunism in supply chains: Dynamically building governance mechanisms to address sustainability-related challenges," *Transp. Res. E Logist. Transp. Rev.*, vol. 171, p. 103021, Mar. 2023, DOI: 10.1016/j.tre.2023.103021.

[15] Adedoyin Tolulope Oyewole, Chinwe Chinazo Okoye, Onyeka Chrisanctus Ofodile, and Emuesiri Ejairu, "Reviewing predictive analytics in supply chain management: Applications and benefits," *World Journal of Advanced Research and Reviews*, vol. 21, no. 3, pp. 568–574, Mar. 2024, DOI: 10.30574/wjarr.2024.21.3.0673.

[16] P. Digkoglou and J. Papathanasiou, "Application of multiple criteria decision aiding in environmental policy-making processes," *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 22, no. 8, pp. 6967–6982, Apr. 2025, DOI: 10.1007/s13762-024-06101-w.

[17] T. L. Saaty, "What is the Analytic Hierarchy Process?," in *Mathematical Models for Decision Support*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1988, pp. 109–121. DOI: 10.1007/978-3-642-83555-1_5.

[18] N. Akbarian-Saravi, T. Sowlati, and A. S. Milani, "A Robust Analytical Network Process for Biocomposites Supply Chain Design: Integrating Sustainability Dimensions into Feedstock Pre-Processing Decisions," *Sustainability*, vol. 17, no. 15, p. 7004, Aug. 2025, DOI: 10.3390/su17157004.

[19] H. Taherdoost and M. Madanchian, "Analytic Network Process (ANP) Method: A Comprehensive Review of Applications, Advantages, and Limitations," *Journal of Data Science and Intelligent Systems*, vol. 1, no. 1, pp. 12–18, May 2023, DOI: 10.47852/bonviewJDSIS3202885.

[20] L. M. Evans, E. Sözümert, B. E. Keenan, C. E. Wood, and A. du Plessis, "A Review of Image-Based Simulation Applications in High-Value Manufacturing," *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 30, no. 3, pp. 1495–1552, Apr. 2023, DOI: 10.1007/s11831-022-09836-2.

[21] C. Baah *et al.*, "Effect of information sharing in supply chains: understanding the roles of supply chain visibility, agility, collaboration on supply chain performance," *Benchmarking: An International Journal*, vol. 29, no. 2, pp. 434–455, Feb. 2022, DOI: 10.1108/BIJ-08-2020-0453.