



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA**
BARCELONATECH

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona
Departament d'Organització d'Empreses
Programa de Administració i Direcció d'Empreses

Aspectos Dinámicos de la Cadena de Suministro

Tesi presentada per obtenir el títol de
Doctor per la Universitat Politècnica de Catalunya

Presentada por:

Rubén Hernández Balbuena

Dirigida por:

Dr. Manel Mateo Doll

Dr. Ramón Companys Pascual

Barcelona, diciembre del 2014

*...y aunque no es posible seguir exactamente el mismo camino,
ni alcanzar la perfección del modelo,
todo hombre prudente debe entrar al camino seguido por los grandes
e imitar a los que han sido excelsos,
para que, si no los iguala en virtud, por lo menos se les acerque.*

El Príncipe.

*Niccolò di Bernardo dei Machiavelli.
(1469-1527).*

El presente trabajo de investigación se lo dedico a mis directores de tesis,
el Dr. Manel Mateo Doll y el Dr. Ramón Companys Pascual,
por compartirme sus valiosos conocimientos en organización industrial,
pero sobre todo, por distinguirme con su fina y enriquecedora amistad.

Respetuosamente,

Rubén Hernández Balbuena.

Agradecimientos.

Mi gratitud para el Dr. Manel Mateo Doll y el Dr. Ramón Companys Pascual, mis directores de tesis, por la disposición y generosidad de compartirme su sapiencia durante el desarrollo de esta investigación. Agradezco especialmente al Dr. José Pedro García Sabater su valoración sobre este estudio, lo cual me ha permitido perfeccionarlo desde su afinado enfoque científico. También agradezco al tribunal de tesis sus valiosas aportaciones a la presente investigación.

Mi agradecimiento al personal docente e investigador del Departament d'Organització d'Empres (DOE) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) por sus enseñanzas. También quiero agradecer el valioso trabajo que realiza el personal de administración y de servicios del DOE, el personal de Servicio de Bibliotecas y Documentación de la UPC y de la Bibliotècnica. Mi más sincero agradecimiento al personal de la Residencia Universitaria Torre Girona.

Deseo expresar mi gratitud al Sr. Jaume Xicola, director general de la empresa dueña del problema de estudio, por su invaluable apoyo para desarrollar esta tesis. Agradezco al personal de la empresa su colaboración en este trabajo. De manera especial quiero agradecer a las excelentes profesionales Mònica Serrat Cort y Marina Xicola Serrano su ayuda para poder elaborar esta investigación.

Mi estancia en Cataluña representa un conjunto de vivencias excepcionales en el terreno personal y profesional. La ciudad de Barcelona es el punto de encuentro de personas de diversas partes del mundo y *de la mateixa terra* a quienes aprecio infinitamente. Los grandes momentos que hemos disfrutado juntos me hacen pensar, sin dudarlo, que nuestra amistad debe perdurar por siempre.

Expreso mi gratitud infinita a la familia Russo y a la familia Xicola por hacerme sentir parte de ellos en todo momento. Mi sentimiento fraternal para mi ahijado Beniamino, Marina, Alberto, Anna, Claudia, Luca, Chiara, Hiram, Patricia, Marc, Cristina, Sonia y Flaminio.

Mi respeto y agradecimiento para las familias de Cosenza y de Ferrara por la gentileza de brindarme su valiosa amistad.

Me siento orgulloso de contar con amigos de gran valía. Sirva este momento para expresar a todos ellos el mayor de mis apreios, en particular a Keyla, Miriam, María Luisa, Dominic, Bruno, Víctor Hugo, Alejandra, Miguel, Elena, Sergio, Isidro, Nikolaos, Randy, Edgar, Zorana, Dorian y Jorge. Gracias por compartirme su amistad.

A mi familia mi cariño eterno.

Rubén.

Barcelona, diciembre del 2014.

Contenido.

Dedicatoria.	i
Agradecimientos.	ii
Contenido.	iii

Capítulo 1. Introducción.

1.1. Presentación.	1
1.2. Objetivos de la tesis.	3
1.3. Estructura del documento de la tesis.	4

Capítulo 2. Descripción de la Cadena de Suministro bajo estudio.

2.1. Introducción.	6
2.2. Información del sistema del mundo real.	7
2.3. Estructura estática de la Cadena de Suministro.	10
2.3.1. Estructura estática de la subred 1.	12
2.3.2. Estructura estática de la subred 2.	13
2.3.3. Estructura estática de la subred 3.	13
2.3.4. Estructura estática total de la Cadena de Suministro.	14
2.4. Estructura dinámica de la Cadena de Suministro.	16
2.4.1. Estructura dinámica de la subred 1.	17
2.4.2. Estructura dinámica de la subred 2.	18
2.4.3. Estructura dinámica de la subred 3.	19
2.5. Existencias anuales del fabricante y su coste de gestión.	21
2.6. Conclusiones.	23

Capítulo 3. Marco teórico.

3.1. Introducción.	27
3.2. Definición de Cadena de Suministro.	28
3.3. Definición de Gestión de la Cadena de Suministro.	30
3.4. Amplificación de la demanda en la Cadena de Suministro.	34
3.5. Medición del rendimiento de la Cadena de Suministro.	40
3.6. Conclusiones.	42

Capítulo 4. Modelo de simulación.

4.1. Introducción.	44
4.2. Visualización sistémica de la Cadena de Suministro.	45
4.3. Diseño y construcción del modelo.	46
4.4. Lógica de funcionamiento.	49
4.5. Verificación y validación.	51
4.6. Conclusiones.	52

Capítulo 5. Diseño y conducción del experimento.

5.1. Introducción.	53
5.2. Diseño del experimento.	54
5.2.1. Escenarios de simulación de la Cadena de Suministro.	54
5.2.2. Medidas de rendimiento de la Cadena de Suministro.	55
5.3. Conducción del experimento con Políticas de Suministro Vigentes (PSV).	55
5.3.1. Simulación piloto de la subred 1 con PSV.	55
5.3.2. Simulación piloto de la subred 2 con PSV.	58
5.3.3. Simulación piloto de la subred 3 con PSV.	59
5.3.4. Número de réplicas del modelo con PSV.	61
5.3.5. Resultados de la simulación con PSV.	61
5.3.5.1. Existencias anuales de la subred 1 con PSV.	61
5.3.5.2. Existencias anuales de la subred 2 con PSV.	62
5.3.5.3. Existencias anuales de la subred 3 con PSV.	62
5.4. Diseño de la estrategia global suministro.	63
5.4.1. Políticas de Suministro Nuevas para la subred 1.	64
5.4.2. Políticas de Suministro Nuevas para la subred 2.	65
5.4.3. Políticas de Suministro Nuevas para la subred 3.	66
5.5. Conducción del experimento con Políticas de Suministro Nuevas (PSN).	68
5.5.1. Simulación piloto de la subred 1 con PSN.	69
5.5.2. Simulación piloto de la subred 2 con PSN.	69
5.5.3. Simulación piloto de la subred 3 con PSN.	69
5.5.4. Número de réplicas del modelo con PSN.	70
5.5.5. Resultados de la simulación con PSN.	70
5.5.5.1. Existencias anuales de la subred 1 con PSN.	70
5.5.5.2. Existencias anuales de la subred 2 con PSN.	71
5.5.5.3. Existencias anuales de la subred 3 con PSN.	71
5.6. Conclusiones.	72

Capítulo 6. Medición del rendimiento de la Cadena de Suministro.

6.1. Introducción.	74
6.2. Existencias anuales de la Cadena de Suministro.	75
6.2.1. Análisis de las existencias anuales de la subred 1.	75
6.2.2. Análisis de las existencias anuales de la subred 2.	76
6.2.3. Análisis de las existencias anuales de la subred 3.	78
6.3. Inventario medio y máximo a lo largo de la Cadena de Suministro.	83
6.3.1. Análisis del inventario medio y máximo de la subred 1.	83
6.3.2. Análisis del inventario medio y máximo de la subred 2.	85
6.3.3. Análisis del inventario medio y máximo de la subred 3.	87
6.4. Medición del Efecto <i>Bullwhip</i> en la Cadena de Suministro.	92
6.4.1. Análisis del impacto del Efecto <i>Bullwhip</i> en la subred 1.	92
6.4.2. Análisis del impacto del Efecto <i>Bullwhip</i> en la subred 2.	93
6.4.3. Análisis del impacto del Efecto <i>Bullwhip</i> en la subred 3.	94
6.5. Número de pedidos de la Cadena de Suministro.	97
6.5.1. Análisis del número de pedidos de la subred 1.	97
6.5.2. Análisis del número de pedidos de la subred 2.	99
6.5.3. Análisis del número de pedidos de la subred 3.	100
6.6. Medición del plazo de entrega de la Cadena de Suministro.	103
6.6.1. Análisis del plazo de entrega de la subred 1.	103
6.6.2. Análisis del plazo de entrega de la subred 2.	105
6.6.3. Análisis del plazo de entrega de la subred 3.	106
6.6.4. Análisis del plazo de entrega del fabricante.	110
6.7. Coste anual de gestión de inventario de la Cadena de Suministro.	112
6.7.1. Análisis del coste anual de gestión de inventario de la subred 1.	112
6.7.2. Análisis del coste anual de gestión de inventario de la subred 2.	113
6.7.3. Análisis del coste anual de gestión de inventario de la subred 3.	113
6.8. Análisis integral de la Cadena de Suministro en los escenarios del estudio.	115
6.8.1. Análisis integral de la Cadena de Suministro en el escenario 0.	115
6.8.2. Análisis integral de la Cadena de Suministro en el escenario 1.	117
6.8.3. Análisis integral de la Cadena de Suministro en el escenario 2.	118
6.8.4. Análisis integral de la Cadena de Suministro en el escenario 3.	119
6.9. Conclusiones.	120

Capítulo 7. Conclusiones y líneas de investigación futura.

7.1. Introducción.	121
7.2. Conclusiones de la tesis.	121
7.3. Líneas de investigación futura.	126

Referencias.	128
---------------------	-----

Anexos.

Anexo A. Información de las ventas.	131
Anexo B. Resultados de la simulación del modelo con Políticas de Suministro Vigentes.	137
Anexo C. Resultados de la simulación del modelo con Políticas de Suministro Nuevas.	140
Anexo D. Resultados de la medición del Efecto <i>Bullwhip</i> .	143
Anexo E. Resultados de la medición del número de pedidos.	144
Anexo F. Resultados de la medición del plazo de entrega.	145
Anexo G. Resultados del coste anual de gestión de inventario.	146

Listado de tablas.

Capítulo 2.

Tabla 2.1. Información de las ventas de los productos 1, 2 y 3.	7
Tabla 2.2. Código alfanumérico de los agentes de la CS.	11
Tabla 2.3. Agentes de la subred 1.	17
Tabla 2.4. PSV del fabricante con los agentes de la subred 1.	17
Tabla 2.5. PSV de los agentes de la subred 1.	17
Tabla 2.6. Agentes de la subred 2.	18
Tabla 2.7. PSV del fabricante con los agentes de la subred 2.	18
Tabla 2.8. PSV de los agentes de la subred 2.	18
Tabla 2.9. Agentes de la subred 3.	19
Tabla 2.10. PSV del fabricante con los agentes de la subred 3.	19
Tabla 2.11. PSV de los agentes del canal P3C2 de la subred 3.	20
Tabla 2.12. PSV de los agentes del canal P3C4 de la subred 3.	21

Capítulo 3.

Tabla 3.1. Características de amplificación de la demanda (Miragliotta, 2006).	35
Tabla 3.2. Procesos del modelo SCOR.	41

Capítulo 5.

Tabla 5.1. Escenarios del experimento.	54
Tabla 5.2. Parámetros de gestión para las PSV de la subred 1.	56
Tabla 5.3. Resultados piloto (número de réplicas R^*) de la subred 1.	57
Tabla 5.4. Parámetros de gestión para las PSV de la subred 2.	58
Tabla 5.5. Resultados piloto (número de réplicas R^*) de la subred 2.	58
Tabla 5.6. Parámetros de gestión para las PSV de la subred 3.	60
Tabla 5.7. Resultados piloto (número de réplicas R^*) de la subred 3.	61
Tabla 5.8. Número de réplicas del modelo con PSV.	61
Tabla 5.9. Existencias anuales (unidades de componentes) de la subred 1 con PSV.	62
Tabla 5.10. Existencias anuales (unidades de componentes) de la subred 2 con PSV.	62
Tabla 5.11. Existencias anuales (unidades de componentes) de la subred 3 con PSV.	63
Tabla 5.12. Parámetros de gestión para las PSN de la subred 1.	65
Tabla 5.13. Parámetros de gestión para las PSN de la subred 2.	66

Tabla 5.14. Parámetros de gestión para las PSN de la subred 3.	68
Tabla 5.15. Resultados piloto (número de réplicas R^*) con PSN de la subred 1.	69
Tabla 5.16. Resultados piloto (número de réplicas R^*) con PSN de la subred 2.	69
Tabla 5.17. Resultados piloto (número de réplicas R^*) con PSN de la subred 3.	70
Tabla 5.18. Número de réplicas del modelo con PSN.	70
Tabla 5.19. Existencias anuales (unidades de componentes) de la subred 1 con PSN.	70
Tabla 5.20. Existencias anuales (unidades de componentes) de la subred 2 con PSN.	71
Tabla 5.21. Existencias anuales (unidades de componentes) de la subred 3 con PSN.	71

Capítulo 6.

Tabla 6.1. Códigos utilizados en la subred 1.	75
Tabla 6.2. Reducción (%) de las existencias anuales entre PSV y PSN $RVN_{(ea)}$ de la subred 1.	76
Tabla 6.3. Códigos utilizados en la subred 2.	76
Tabla 6.4. Reducción (%) de las existencias anuales entre PSV y PSN $RVN_{(ea)}$ de la subred 2.	78
Tabla 6.5. Códigos utilizados en la subred 3.	78
Tabla 6.6. Reducción (%) de las existencias anuales entre PSV y PSN $RVN_{(ea)}$ de la subred 3.	83
Tabla 6.7. Reducción (%) de inventario medio entre PSV y PSN $RVN_{(Inv-medio)}$ e inventario máximo entre PSV y PSN $RVN_{(Inv-máximo)}$ para la subred 1.	85
Tabla 6.8. Reducción (%) de inventario medio entre PSV y PSN $RVN_{(Inv-medio)}$ e inventario máximo entre PSV y PSN $RVN_{(Inv-máximo)}$ para la subred 2.	86
Tabla 6.9. Reducción (%) de inventario medio entre PSV y PSN $RVN_{(Inv-medio)}$ e inventario máximo entre PSV y PSN $RVN_{(Inv-máximo)}$ para la subred 3.	91
Tabla 6.10. Reducción (%) del EB entre PSV y PSN $RVN_{(eb)}$ para la subred 1.	93
Tabla 6.11. Reducción (%) del EB entre PSV y PSN $RVN_{(eb)}$ para la subred 2.	94
Tabla 6.12. Reducción (%) del EB entre PSV y PSN $RVN_{(eb)}$ para la subred 3.	97
Tabla 6.13. Reducción (%) del número de pedidos entre PSV y PSN $RVN_{(np)}$ para la subred 1.	98
Tabla 6.14. Reducción (%) del número de pedidos entre PSV y PSN $RVN_{(np)}$ para la subred 2.	100
Tabla 6.15. Reducción (%) del número de pedidos entre PSV y PSN $RVN_{(np)}$ para la subred 3.	103
Tabla 6.16. Reducción (%) del plazo de entrega entre PSV y PSN $RVN_{(pe)}$ para la subred 1.	105

Tabla 6.17. Reducción (%) del plazo de entrega entre PSV y PSN $RVN_{(pe)}$ para la subred 2.	106
Tabla 6.18. Reducción (%) del plazo de entrega entre PSV y PSN $RVN_{(pe)}$ para la subred 3.	110
Tabla 6.19. Reducción (%) del plazo de entrega entre PSV y PSN $RVN_{(pe)}$ para el fabricante.	111
Tabla 6.20. Coste de gestión de inventario (en euros/año) de la subred 1.	112
Tabla 6.21. Reducción (%) del coste anual de gestión de inventario entre PSV y PSN $RVN_{(cagi)}$ para la subred 1.	112
Tabla 6.22. Coste de gestión de inventario (en euros/año) de la subred 2.	113
Tabla 6.23. Reducción (%) del coste anual de gestión de inventario entre PSV y PSN $RVN_{(cagi)}$ para la subred 2.	113
Tabla 6.24. Coste de gestión de inventario (en euros/año) de la subred 3.	114
Tabla 6.25. Reducción (%) del coste anual de gestión de inventario entre PSV y PSN $RVN_{(cagi)}$ para la subred 3.	114
Tabla 6.26. Nomenclatura para las estructuras organizativas de la CS.	115
Tabla 6.27. Mejora del rendimiento de la CS analizada (escenario 0).	116
Tabla 6.28. Mejora del rendimiento de la CS analizada (escenario 1).	117
Tabla 6.29. Mejora del rendimiento de la CS analizada (escenario 2).	118
Tabla 6.30. Mejora del rendimiento de la CS analizada (escenario 3).	119
Tabla 6.31. Intervalos de la mejora del rendimiento global de la CS bajo estudio.	120

Listado de figuras.

Capítulo 1.

Figura 1.1. Esquema general de la tesis (capítulo 1). 4

Capítulo 2.

Figura 2.1. Elementos del sistema del mundo real (capítulo 2). 6

Figura 2.2. Comportamiento de las ventas. 8

Figura 2.3. Estructura estática de la subred 1. 12

Figura 2.4. Estructura estática de la subred 2. 13

Figura 2.5. Estructura estática de la subred 3. 14

Figura 2.6. Estructura estática total de la Cadena de Suministro analizada. 15

Figura 2.7. Existencias del fabricante. 22

Figura 2.8. Coste anual de gestión de inventario del fabricante. 22

Capítulo 3.

Figura 3.1. Temas del marco teórico de la tesis (capítulo 3). 27

Figura 3.2. Modelo generalizado de la CS (Bowersox *et al.*, 2001). 29

Figura 3.3. Áreas funcionales de la GCS (Ballou, 2007). 31

Figura 3.4. Gestión de los procesos de negocio de la CS (SCMI) 32

Capítulo 4.

Figura 4.1. Proceso de modelado de la CS bajo estudio (capítulo 4). 44

Figura 4.2. Visualización sistémica de la CS bajo estudio. 45

Figura 4.3. Lógica de funcionamiento del modelo de simulación. 50

Capítulo 5.

Figura 5.1. Diseño y conducción del experimento (capítulo 5). 53

Capítulo 6.

Figura 6.1. Medición del rendimiento integral de la CS bajo estudio (capítulo 6).	74
Figura 6.2. Existencias anuales (millares de unidades) de la subred 1.	75
Figura 6.3. Existencias anuales (millares de unidades) de la subred 2.	77
Figura 6.4. Existencias anuales (millares de unidades) del canal P3C2 de la subred 3.	79
Figura 6.5. Existencias anuales (millares de unidades) del canal P3C4 de la subred 3 (escenarios 0 y 1).	81
Figura 6.6. Existencias anuales (millares de unidades) del canal P3C4 de la subred 3 (escenarios 2 y 3).	82
Figura 6.7. Inventario medio y máximo (millares de unidades) de la subred 1.	84
Figura 6.8. Inventario medio y máximo (millares de unidades) de la subred 2.	86
Figura 6.9. Inventario medio y máximo (millares de unidades) del canal P3C2 de la subred 3 (escenarios 0 y 1).	87
Figura 6.10. Inventario medio y máximo (millares de unidades) del canal P3C2 de la subred 3 (escenarios 2 y 3).	88
Figura 6.11. Inventario medio y máximo (millares de unidades) del canal P3C4 (escenarios 0 y 1).	89
Figura 6.12. Inventario medio y máximo (millares de unidades) del canal P3C4 (escenarios 2 y 3).	90
Figura 6.13. Medición del EB (oscilaciones anuales de inventario) en la subred 1.	92
Figura 6.14. Medición del EB (oscilaciones anuales de inventario) en la subred 2.	93
Figura 6.15. Medición del EB (oscilaciones anuales de inventario) en el canal P3C2 de la subred 3.	94
Figura 6.16. Medición del EB (oscilaciones anuales de inventario) en el canal P3C4 de la subred 3 (escenarios 0 y 1).	95
Figura 6.17. Medición del EB (oscilaciones anuales de inventario) en el canal P3C4 de la subred 3 (escenarios 2 y 3).	96
Figura 6.18. Número de pedidos de la subred 1.	98
Figura 6.19. Número de pedidos de la subred 2.	99
Figura 6.20. Número de pedidos del canal P3C2 de la subred 3.	100
Figura 6.21. Número de pedidos del canal P3C4 de la subred 3 (escenarios 0 y 1).	101
Figura 6.22. Número de pedidos del canal P3C4 de la subred 3 (escenarios 2 y 3).	102
Figura 6.23. Plazo de entrega (en días) de la subred 1.	104
Figura 6.24. Plazo de entrega (en días) de la subred 2.	106
Figura 6.25. Plazo de entrega (en días) del canal P3C2 de la subred 3.	107
Figura 6.26. Plazo de entrega (en días) del canal P3C4 de la subred 3.	109
Figura 6.27. Plazo de entrega (en días) del fabricante en los escenarios simulados.	111

Capítulo 1.

Introducción.

1.1. Presentación.

La Cadena de Suministro (CS) se puede conceptualizar como un sistema global extendido por la integración de varias organizaciones con un objetivo común: hacer llegar el producto al cliente o usuario final con el menor coste posible y de forma lo más sincronizada posible. Su comportamiento es dinámico y bastante complejo, lo que le añade un interés especial en cualquier investigación relacionada con ésta.

Los investigadores tratan de conocer los factores que influyen en la dinámica de la CS y el impacto que éstos tienen en su rendimiento integral. Entre los factores que dinamizan la CS se encuentran: la volatilidad de la demanda, el cumplimiento o no de los plazos de entrega y las fluctuaciones del inventario en distintos puntos a lo largo de la cadena. La combinación de estos factores puede dar como resultado la amplificación de la demanda o Efecto *Bullwhip* (EB), que es un fenómeno organizativo que perjudica la gestión de las actividades de creación de valor en la CS. Por lo tanto, para los decisores es indispensable diseñar estrategias enfocadas a contrarrestar el EB en la CS.

En la literatura relacionada a la Gestión de la Cadena de Suministro (GCS) se percibe un incremento significativo de estudios enfocados optimizar el funcionamiento de la CS. En las aportaciones de los investigadores se advierte su interés en descubrir las mejores formas de gestionar los procesos de creación de valor de la CS. Sin embargo, parece ser que los aspectos dinámicos de la CS representan un obstáculo a vencer para lograr dicho cometido. En años recientes se han logrado avances significativos para contrarrestar el EB, particularmente con el soporte de técnicas de organización industrial y la visibilidad que aporta el enfoque de sistemas en el análisis de la CS. Esta combinación de conocimientos ayuda a explorar mejores formas de crear valor en la CS.

La CS que se estudia en esta tesis se localiza en Cataluña, España, y se integra de un fabricante principal y de una red de suministro de 29 agentes distribuidos en una estructura de tres niveles. Estos agentes gestionan de forma separada sus políticas de suministro, es decir, no proveen de forma integrada al fabricante. El fabricante satisface la demanda de tres organizaciones que destacan de su amplia cartera de clientes por su alto volumen de compra. Por lo tanto, en esta tesis se pretende analizar los aspectos dinámicos de una CS del mundo real integrada por 33 agentes en total.

La intrincada operativa de esta CS hace suponer que un modelo determinista la representaría de forma limitada en diversos escenarios de experimentación. De aquí que el autor de este trabajo considere que para llevar a cabo esta investigación, donde la aleatoriedad es un aspecto importante, la simulación es la técnica más apropiada, debido a su comprobada capacidad de modelado de sistemas logísticos de alta complejidad operativa y sujetos a la variabilidad comentada. Por lo tanto, se pueden comprobar estrategias de mejora de la CS con un modelo de simulación robusto, con el propósito de disponer de resultados que posibiliten el riguroso análisis del comportamiento integral del sistema bajo estudio.

La información recogida del sistema del mundo real corresponde a un año de operaciones y representa la materia prima fundamental para construir el modelo de simulación de esta tesis. La construcción del modelo de simulación incluye, entre otros pasos, la visualización sistémica de la CS que sirve para diseñar el modelo y validar su operativa. Posteriormente, se procede al diseño del experimento del estudio, que consiste en definir los escenarios de experimentación con el modelo construido. Estos escenarios se caracterizan, principalmente, por el comportamiento de la demanda de los clientes de la CS. Dentro del diseño del experimento se establecen las medidas de rendimiento de la CS que se estudia.

La conducción del experimento se orienta a replicar el modelo de la CS un determinado número de veces en los escenarios del estudio, para obtener resultados confiables de la simulación. En esta parte del trabajo se vislumbran dos tipos de experimentación con el modelo de la CS. La primera experimentación se basa en simular el comportamiento del sistema con sus políticas de suministro de partida. Los resultados arrojados por la simulación se analizan de acuerdo con las métricas de rendimiento de la CS definidas en el diseño del estudio. Posteriormente, con la información de la operativa de los agentes de la CS y el análisis del comportamiento actual del sistema, se procede al diseño de políticas de suministro orientadas a optimizar los flujos de información y de materia prima que recorren el sistema total. Este conjunto de políticas propuestas integran la estrategia global de suministro, cuya meta principal es lograr que la CS responda a la demanda de sus clientes y que contrarreste el impacto del EB en su dinámica operativa, a partir de la disposición de un nivel adecuado de *stock* a lo largo del sistema logístico.

La segunda experimentación consiste en simular la CS con la estrategia global de suministro propuesta en esta tesis. Los resultados arrojados por la simulación en esta parte del estudio se analizan con las métricas del rendimiento integral del sistema, con el propósito de descubrir el grado de efectividad de la estrategia en la mejora del funcionamiento del sistema logístico. Una vez que se cuenta con los resultados de las dos experimentaciones, se realiza una comparativa del rendimiento integral de la CS con las políticas simuladas.

El desarrollo de los pasos que integran esta tesis hace posible pasar de los datos de un sistema del mundo real a simular una realidad industrial sustentada con argumentos teóricos. Todos estos pasos tienen la meta de obtener información útil que ayude a optimizar el funcionamiento dinámico de la CS del mundo real. El hecho de contrastar resultados reales tan complejos y mediante un modelo de simulación que se ajusta al realidad no es tan frecuente en las investigaciones sobre la CS, de acuerdo con la literatura revisada en este trabajo de investigación.

1.2. Objetivos de la tesis.

El objetivo de esta tesis es replicar la dinámica de una Cadena de Suministro (CS) del mundo real a través de un modelo de simulación, para obtener información sobre el comportamiento del sistema con sus actuales políticas de suministro. El modelo sirve, también, para simular el comportamiento del sistema con nuevas políticas de suministro enfocadas a optimizar su operativa. Con los resultados de la simulación de la CS bajo estos dos tipos de políticas, se realiza una comparativa para determinar la mejora del rendimiento integral del sistema objeto de estudio.

El cumplimiento del objetivo principal de esta tesis depende de alcanzar los siguientes objetivos secundarios:

- Recolectar información del sistema del mundo real para construir un modelo que simule la dinámica la CS, y pueda ser utilizado para experimentar con diversas políticas de suministro en distintos escenarios.
- Revisar la literatura de la CS para aprovechar la aportación de los estudiosos sobre las formas de analizar este tipo de sistema organizativo, especialmente en cuestiones asociadas a la amplificación de la demanda. También, será interesante conocer las aportaciones relacionadas a la simulación de los sistemas logísticos y a la medición del rendimiento integral de la CS.

- Construir un modelo de simulación que replique de manera precisa el comportamiento del sistema bajo análisis, para poder diseñar y conducir el experimento del estudio con las políticas actuales de suministro y las nuevas propuestas. De esta forma se pretende obtener resultados de la simulación consistentes con la dinámica de la CS del mundo real.
- Comparar los resultados de la simulación del sistema con las políticas de suministro actuales y las políticas de suministro nuevas propuestas, para conocer la mejora del rendimiento de la CS que se analiza en esta investigación.

1.3. Estructura del documento de la tesis.

La estructura del documento de la tesis se compone de cuatro partes principales (ver figura 1.1). La primera parte incluye los capítulos uno, dos y tres de esta tesis. En el capítulo uno se presenta, como se ha visto, el caso de estudio y los objetivos de la tesis. El capítulo dos contiene la información del sistema del mundo real relacionada a los antecedentes de la organización y su estructura organizativa, y también incluye las actuales políticas de suministro del sistema logístico. Este capítulo también contiene información acerca de los siguientes aspectos: el nivel de ventas de los productos que provee la Cadena de Suministro (CS) a sus clientes; el nivel de compra de materia prima de los agentes del sistema y los costes de gestión de inventario.

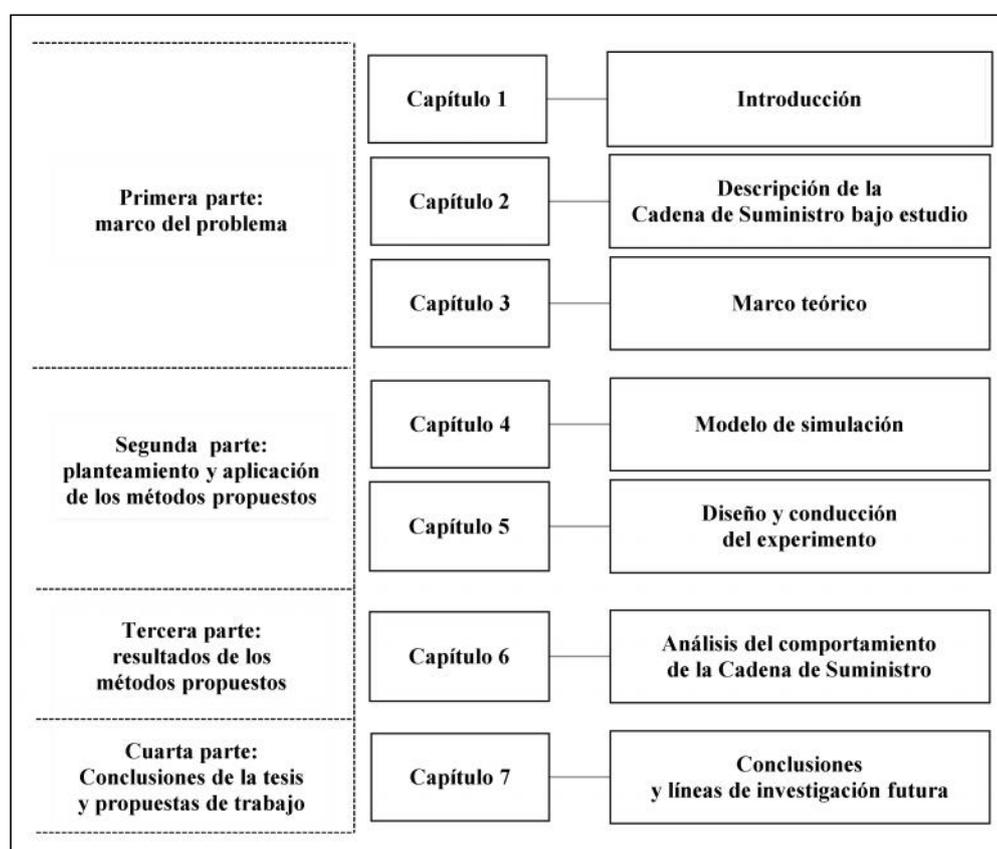


Figura 1.1. Esquema general de la tesis (capítulo 1).

El tercer capítulo contiene el marco teórico de la tesis (ver figura 1.1), en el cual se discuten las definiciones de CS y de Gestión de la Cadena de Suministro (GCS). En este mismo capítulo se describe el fenómeno organizativo conocido como amplificación de la demanda, o Efecto *Bullwhip* (EB), en donde también se explican las causas que lo generan y las medidas que ayudan a contrarrestarlo. Posteriormente se presentan las aportaciones de los estudiosos enfocadas a medir el EB y se analizan algunos estudios enfocados a reducir el EB en la CS. La parte final de este capítulo se dedica a la medición del rendimiento de la CS.

La segunda parte del documento de la tesis incluye los capítulos cuatro y cinco, en los cuales se formaliza el pasar de la información del sistema del mundo real a la realidad simulada (ver figura 1.1). En el capítulo cuatro se describe el proceso de modelado del sistema bajo análisis. Este proceso inicia con la visualización de la dinámica de la CS, para poder capturar la complejidad operativa del sistema en el modelo de simulación. En este mismo capítulo se explican las instrucciones informáticas más importantes en el modelado de la CS. Más adelante se expone la lógica de funcionamiento del modelo, para posteriormente, explicar los procesos correspondientes a su verificación y validación.

El capítulo cinco se dedica al diseño y conducción del experimento con el modelo de simulación. El diseño del experimento consiste en definir el proceso de pruebas con el modelo en los escenarios de simulación. En esta misma parte del estudio se determinan las condiciones operativas que caracterizan a dichos escenarios y se establecen las medidas de rendimiento de la CS, las cuales servirán para comprender su dinámica operativa. La conducción del experimento tiene como meta la obtención de información del comportamiento del sistema, a partir de las réplicas de modelo con las políticas actuales de suministro y con las políticas nuevas propuestas. Por último, se presentan los resultados arrojados por la simulación y se realiza un análisis preliminar de los mismos.

La tercera parte del documento de la tesis incluye únicamente al capítulo seis. En este capítulo se realiza un análisis comparativo del rendimiento de la CS con las políticas de suministro simuladas, de acuerdo con las medidas de rendimiento definidas en este estudio. La cuarta parte del documento de la tesis contiene al capítulo 7, en donde se formulan las conclusiones de esta investigación y se plantean las posibles líneas de investigación futura. En la parte final del documento se encuentran las referencias bibliográficas de este trabajo, los anexos que contienen la información del sistema del mundo real y los resultados del estudio.

Capítulo 2.

Descripción de la Cadena de Suministro bajo estudio.

2.1. Introducción.

El capítulo 2 contiene la descripción de los aspectos más relevantes de la Cadena de Suministro (CS) de esta tesis. La CS que se estudia es un sistema logístico bastante intrincado, debido a que cuenta con un fabricante principal que recibe componentes de 29 suministradores, los cuales se distribuyen en una red logística de tres niveles. Esta CS se orienta a satisfacer la demanda de tres clientes que se caracterizan por sus altos volúmenes de compra. La información recolectada del sistema bajo estudio se presenta en este capítulo como se observa en la figura 2.1. Primero, se describe el funcionamiento del sistema del mundo real desde una perspectiva general, para después explicar tres temas relevantes: 1) La estructura estática de la CS; 2) la estructura dinámica de la CS y 3) las existencias anuales del fabricante y su coste de gestión. La explicación de estos temas hace referencia a los tres subsistemas que integran el sistema total: la subred de suministro 1, la subred de suministro 2 y la subred de suministro 3. Por último, se presentan las conclusiones del capítulo.

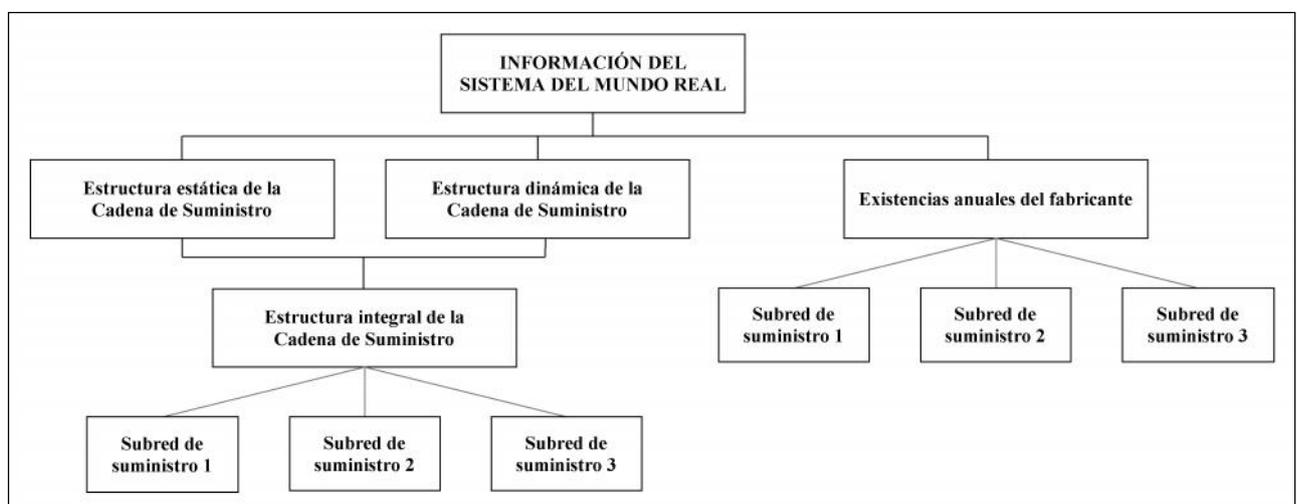


Figura 2.1. Elementos del sistema del mundo real (capítulo 2).

2.2. Información del sistema del mundo real.

El sistema del mundo real que se estudia en esta tesis es una Cadena de Suministro (CS) que pertenece a un fabricante de componentes y accesorios de la industria del automotor localizado en Cataluña, España. Con una experiencia de más de 30 años en este sector, el fabricante tiene fuertes lazos comerciales con sus proveedores, pues la mayoría de ellos colaboran con él desde el inicio de sus operaciones. Los productos elaborados por el fabricante cumplen con los estándares de calidad más exigentes del sector automotor, por lo que son ampliamente reconocidos en el mercado global. El fabricante cuenta con una gran cartera de clientes entre los cuales se han escogido a tres de ellos para llevar a cabo este estudio. Estos clientes tienen un largo historial de compras caracterizado por el alto volumen de sus adquisiciones y el estándar de calidad que exigen al fabricante. Estos tres clientes son identificados como cliente 1, cliente 2 y cliente 3 quienes compran al fabricante los productos 1, 2 y 3 respectivamente.

La operativa del fabricante inicia con el procesamiento de las comandas de sus clientes las cuales atiende en orden FIFO (*First In-First Out*), y en función de ello, procede a planificar las actividades de elaboración de sus productos. El fabricante tiene los siguientes plazos de entrega de sus productos: el producto 1 lo entrega entre 8 y 10 días hábiles; el producto 2 lo entrega en un tiempo que varía entre 7 y 9 días hábiles y el producto 3 lo entrega en un plazo que va de 7 a 10 días hábiles. La información de las ventas de estos tres productos se puede ver en el anexo A, de donde se extrae la información que contiene la tabla 2.1. Esta información corresponde a un año de operaciones del fabricante. Como se puede ver en la tabla 2.1, el fabricante labora 224 días al año y recibe 185 comandas del cliente 1 durante ese tiempo, lo que representa 188.240 unidades vendidas del producto 1. Cabe mencionar que este producto es de los artículos más vendidos por el fabricante.

Mes	Días de operación	Producto 1		Producto 2		Producto 3	
		Número de comandas	Unidades vendidas	Número de comandas	Unidades vendidas	Número de comandas	Unidades vendidas
Enero	21	12	6.750	8	9.880	8	13.390
Febrero	20	20	16.770	8	5.970	6	8.300
Marzo	23	23	18.480	11	9.640	6	9.510
Abril	17	15	13.280	7	9.150	5	8.280
Mayo	22	19	18.960	12	18.720	7	11.060
Junio	22	21	31.920	3	5.130	7	8.700
Julio	21	19	30.000	9	8.090	7	10.640
Agosto	7	2	2.400	2	1.480	2	3.670
Septiembre	19	14	14.160	8	7.280	7	11.430
Octubre	20	17	20.640	9	8.710	7	9.380
Noviembre	19	15	6.720	6	6.050	9	13.700
Diciembre	13	8	8.160	6	8.990	5	6.407
Total	224	185	188.240	89	99.090	76	114.467

Tabla 2.1. Información de las ventas de los productos 1, 2 y 3.

El fabricante elabora el producto 2 para cumplir con la demanda del cliente 2, quien se dedica a la fabricación de automotores de gama alta. En la tabla 2.1 se observa que el fabricante recibió 89 pedidos del artículo 2, lo que le representó un nivel de ventas de 99.090 unidades en ese año. Con respecto al producto 3, el fabricante recibió 76 comandas que se traducen en 114.467 unidades vendidas durante el año. Las ventas anuales de los productos 2 y 3 son bastante importantes, sin embargo, éstas son superadas por las ventas del producto 1. En la figura 1 se observa el comportamiento de las ventas del fabricante, en donde se puede ver que el producto 1 registra su demanda más alta en los meses de junio y julio. El producto 2 registra su mayor nivel de ventas en el mes de mayo, mientras que las ventas del producto 3 presentan un comportamiento estable a lo largo del año. Se observa, también, un decremento súbito de la demanda de todos los productos en el mes de agosto, debido a que el personal de la empresa fabricante suspende sus labores por las vacaciones de verano. El fabricante tiene previsto que las ventas de sus productos tendrá un incremento de alrededor de un 13% anual en los próximos tres años, lo cual se verá reflejado en el aumento del tamaño de sus pedidos. Los datos contenidos en la tabla 2.1 serán utilizados para replicar la demanda de los clientes en el modelo de simulación.

El fabricante tiene especial interés en evitar contratiempos en el suministro que afecten la producción de sus artículos, con la idea de asegurar la entrega oportuna de sus mercancías. Por esta razón, el fabricante trata de prevenir la escasez de materias primas con políticas de suministro enfocadas a mantener el suficiente nivel de existencias. Por experiencia, el fabricante sabe que sus políticas de suministro ocasionan fuertes fluctuaciones de inventario que incrementan los costes operativos de su empresa. Ante esta situación, el fabricante considera que es indispensable mejorar la operativa de sus políticas de suministro con sus proveedores, con el propósito de optimizar el coste operativo de su organización.

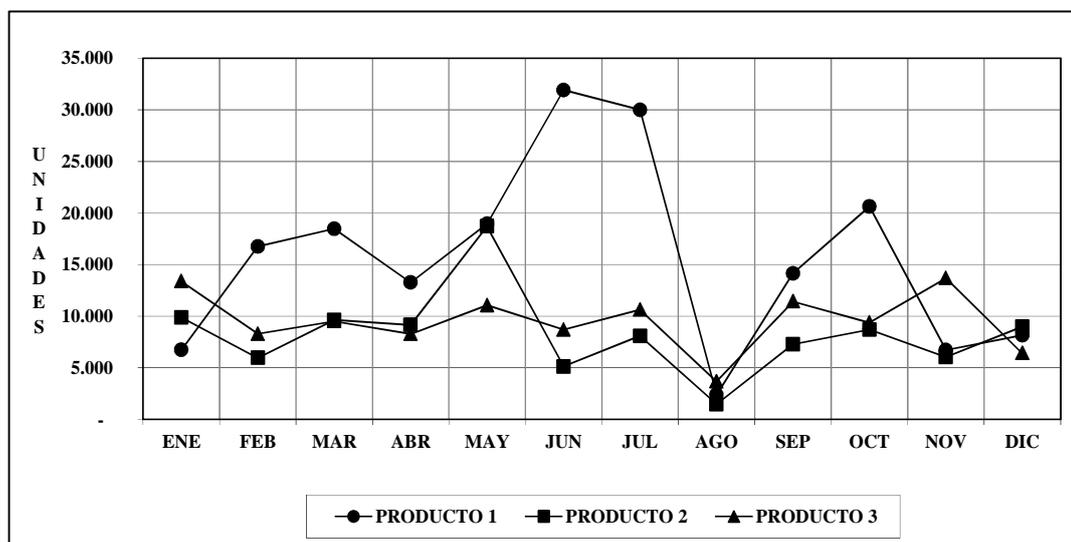


Figura 2.2. Comportamiento de las ventas.

De acuerdo con la información del sistema del mundo real, el fabricante debe sortear algunas dificultades que surgen durante la operativa de sus actuales políticas de suministro. Entre estas dificultades se encuentra, por ejemplo, que sus proveedores condicionan el suministro de sus productos en múltiplos de venta de unidades de componentes. Si se considera que el fabricante tiene una numerosa cantidad de proveedores, esta situación hace suponer que el múltiplo de venta le ocasiona fuertes fluctuaciones de inventario. Otra situación que se presenta durante la operativa del suministro es que algunos proveedores tienen dificultades para cumplir con los plazos de entrega convenidos, lo cual entorpece la planificación de la producción del fabricante. Por esta razón, el fabricante trata de evitar la rotura de sus *stocks* con la compra de una mayor cantidad de componentes de la que realmente necesita. Desde luego que esta decisión incrementa el nivel de sus existencias.

Entre las dificultades asociadas al suministro, el fabricante considera que la más grave es la escasez de componentes, que a pesar de no ser tan frecuente, la evita con la compra de lotes más grandes de lo necesario para producir sus artículos. Esta situación se recrudece cuando percibe un posible incremento de sus ventas. Ante esta situación, el fabricante anticipa la compra de componentes a la recepción de los pedidos de sus clientes, para disponer de suficiente cantidad de inventario. Se puede decir que el fabricante tiene un proceso de compra de componentes que opera con ciertas particularidades, las cuales se tratan de explicar a continuación.

La percepción del fabricante sobre la intensidad de su demanda tiene mucho que ver en su proceso de compra de componentes, la cual puede ser clasificada como baja, media o alta en distintas épocas del año. El fabricante construye su percepción de la demanda de acuerdo a su experiencia y los datos históricos de sus ventas. El proceso de compra se puede ejemplificar como sigue: el fabricante recibe un pedido de 1.500 unidades de un tipo de producto, y si en ese momento no tiene existencias, entonces coloca una comanda a su proveedor para que le suministre de componentes. Considere que el fabricante utiliza una unidad de componente por cada unidad de producto que elabora. Si el proveedor tiene un múltiplo de venta de 1.000 unidades de componentes, el fabricante deberá comprar, al menos, 2.000 unidades para poder iniciar la fabricación de este primer pedido.

Más tarde, el fabricante recibe un segundo pedido, supóngase de 300 unidades de producto, así que podrá echar mano del inventario de las 500 unidades almacenadas, quedando solamente 200 unidades en *stock*. Considere que el fabricante recibe un tercer pedido de 2.400 unidades, y dado que las existencias son insuficientes (200 unidades) deberá comprar 3.000 unidades más a su suministrador, por lo que quedarán 800 unidades de componentes en *stock*. En este escenario debe recordarse que el fabricante suele anticipar la compra de componentes en ciertas temporadas del año, lo cual incrementa mucho más el nivel de sus existencias. Dentro de esta lógica de funcionamiento del

suministro, debe considerarse que el fabricante cuenta con una numerosa cantidad de proveedores que tienen diversos múltiplos de venta, lo cual puede incrementar sus existencias en forma desmedida.

De acuerdo con la explicación anterior, parece ser que el fabricante genera fuertes fluctuaciones en su inventario con el proceso de compra que tiene con sus proveedores. A primera vista, los detonantes de estas fluctuaciones son la percepción de la demanda y el múltiplo de venta de componentes. Según la experiencia del fabricante, la estrategia de compra de sus proveedores es similar a la suya. Este hecho hace suponer la existencia de fuertes fluctuaciones de inventario a lo largo de la red de suministro, lo cual puede tener un fuerte impacto sobre el rendimiento integral del sistema. Se puede concluir que la percepción del fabricante sobre su demanda y el múltiplo de venta de los suministradores son dos factores que tienen una fuerte influencia en la operativa del sistema logístico que se estudia. Pero también existe otro factor que influye en la dinámica del sistema que se analiza, que es la estructura estática de la CS.

2.3. Estructura estática de la Cadena de Suministro.

El sistema logístico que se analiza en esta tesis posee una compleja estructura estática que, parece ser, favorece las fluctuaciones de inventario en las organizaciones del sistema. La estructura estática tiene 29 agentes distribuidos en los tres niveles con los que cuenta el sistema total. El flujo de información que integra a los agentes del sistema inicia con el envío de los pedidos de los clientes al fabricante, quien de acuerdo con sus necesidades de componentes, coloca sus pedidos a los proveedores localizados en el nivel 1 de la CS. De igual forma, los agentes del primer nivel colocan sus comandas a los proveedores del nivel 2, y éstos, a sus proveedores del nivel 3. Por lo tanto, la transmisión de las comandas fluye de forma secuencial en la CS.

La información de la estructura estática de la CS sirve para visualizar con claridad la interrelación operativa de los agentes del sistema logístico. En los siguientes subapartados se explica la conformación de esta estructura, lo cual ayuda a describir la estructura dinámica de la CS a detalle en el apartado 2.4. La estructura estática de la CS puede visualizarse como el resultado de la integración de tres subredes de suministro, enfocadas a proveer de componentes al fabricante. Estas subredes son identificadas como subred 1, subred 2 y subred 3 en este estudio. Después de la explicación de la estructura de las tres subredes de suministro se presenta la estructura estática total de la CS.

Con la idea de describir claramente la estructura estática de la CS de este estudio, se emplea un código alfanumérico para identificar a los agentes del sistema (ver tabla 2.2). Este código consta de un número progresivo que indica la posición de los agentes en los niveles de la estructura del sistema y también cuenta con las letras A (nivel 1), B (nivel 2) y C (nivel 3) que identifican el nivel de la CS.

En el caso de los componentes suministrados por los agentes, éstos se identifican con el mismo código del agente. Por ejemplo, el agente 1A se localiza en la posición uno del primer nivel de la estructura de la CS; este agente suministra el componente 1A. Los códigos utilizados por el fabricante identifican el componente de acuerdo al tipo de producto que elabora y el canal de suministro por el que es provisto. Por ejemplo, el código P1C1 significa que este componente se utiliza para elaborar el producto 1 (P1), el cual llega a través del canal 1 (C1). La tabla 2.2 incluye una figura que muestra la manera de cómo identificar al suministrador y su componente, e indica también, el código del componente que suministra al cliente.

La información contenida en la tabla 2.2 indica que la estructura estática de la subred 1 tiene siete canales de suministro de un solo agente y un canal con dos agentes. La subred 2 tiene seis canales de suministro de un solo agente y un canal con dos agentes. Como se puede ver, las subredes 1 y 2 tienen una estructura estática muy parecida, pues casi tienen el mismo número de suministradores (la subred 1 tiene 8 agentes y la subred 2 tiene 7 agentes). Otra similitud entre estas subredes es que comparten 5 suministradores del nivel 1 y tienen el mismo suministrador en el nivel 2.

Subred	Componente del fabricante	Agentes			Número de canales de suministro
		Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	
1	P1C1	1A			1
	P1C2	2A			2
	P1C3	3A			3
	P1C4	4A			4
	P1C5	5A			5
	P1C6	6A			6
	P1C7	7A	1B		7
	P1C8	8A			8
2	P2C1	2A			1
	P2C2	3A			2
	P2C3	4A			3
	P2C4	5A			4
	P2C5	6A			5
	P2C6	9A			6
	P2C7	10A	1B		7
3	P3C1	11A			1
	P3C2	12A	2B, 3B, 4B, 5B		2
	P3C3	13A	4A		3
	P3C4	14A	6B, 7B, 8B, 9B	1A, 2A, 1C, 2C	4
	P3C5	15A			5
	P3C6	16A			6
	P3C7	17A			7
	P3C8	18A			8

Código del agente suministrador →

1A

1A
P1C1

← Código del componente del suministrador

↑
 Código del componente para el cliente

Tabla 2.2. Código alfanumérico de los agentes de la CS.

La subred 3 es la más compleja de la CS bajo estudio, pues es el subsistema que tiene la mayor cantidad de organizaciones repartidas en los tres niveles del sistema total. La información de la tabla 2.2 indica que la subred 3 tiene cinco canales de un solo agente (canales P3C1, P3C5, P3C6, P3C7 y P3C8) y tiene un canal de dos agentes (canal P3C3). Los canales con el mayor número de suministradores son los canales P3C2 (5 agentes) y P3C4 (9 agentes). De acuerdo con los datos de la tabla 2.2, se puede decir que la complejidad organizativa de las subredes 1 y 2 es bastante similar, mientras que la subred 3 presenta una mayor complejidad en su estructura organizativa, debido a que cuenta con una mayor cantidad de suministradores. En los siguientes subapartados se describe la estructura estática de las subredes que integran la CS de este trabajo.

2.3.1. Estructura estática de la subred 1.

La subred 1 provee al fabricante de componentes para elaborar el producto 1. Esta subred cuenta con nueve agentes, de los cuales ocho se ubican en el nivel 1 (agentes 1A, 2A, 3A, 4A, 5A, 6A, 7A y 8A) y un agente se localiza en el nivel 2 (agente 1B), como se puede ver en la figura 2.3. Cabe mencionar que el fabricante entrega el producto 1 al cliente 1.

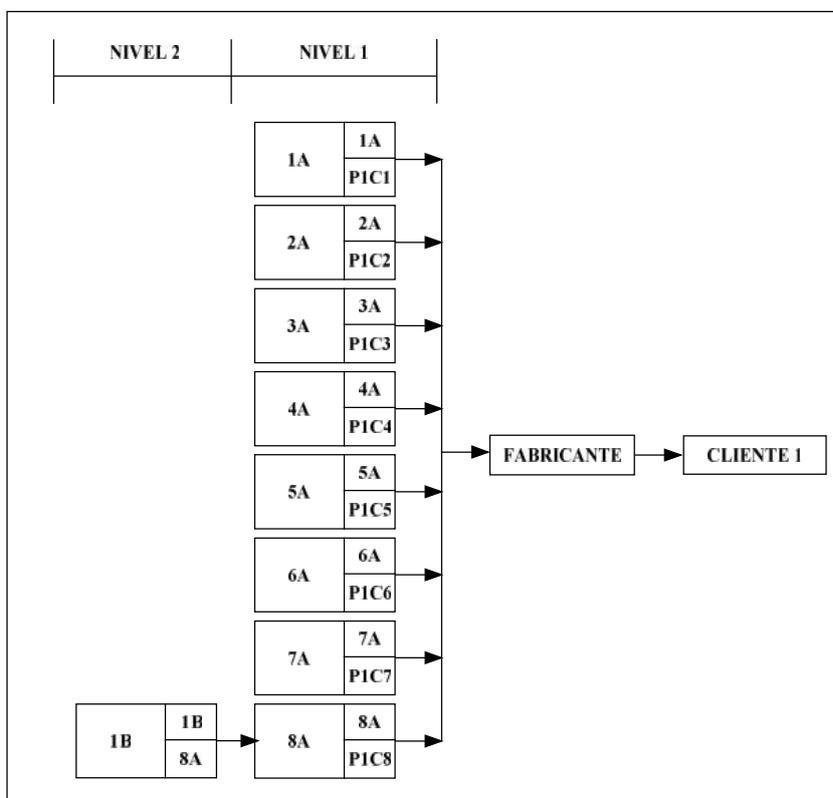


Figura 2.3. Estructura estática de la subred 1.

2.3.2. Estructura estática de la subred 2.

La subred 2 provee de componentes al fabricante para que elabore el producto 2. Se puede ver en la figura 2.4 que esta subred cuenta con ocho agentes en total, de los cuales siete se localizan en el nivel 1 y un agente se localiza en el nivel 2. Las subredes 1 y 2 comparten los agentes 2A, 3A, 4A, 5A y 6A, todos ellos localizados en el nivel 1 y comparten, también, el agente 1B que se localiza en el nivel 2 de ambos subsistemas.

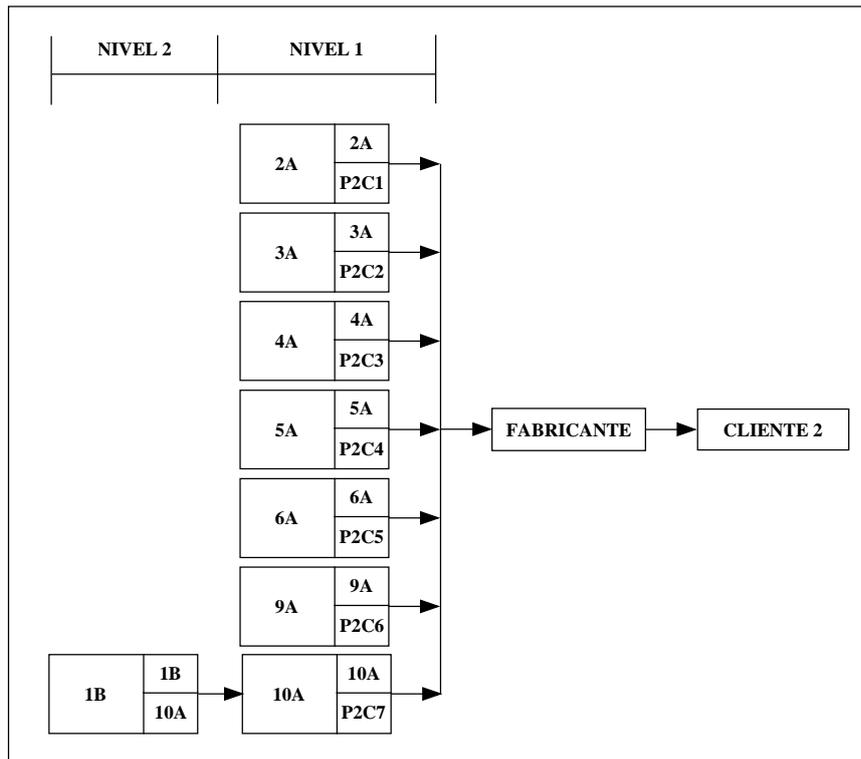


Figura 2.4. Estructura estática de la subred 2.

2.3.3. Estructura estática de la subred 3.

La estructura estática de la subred 3 es la más compleja del sistema logístico que se estudia. Esta estructura cuenta con 21 agentes distribuidos en los 3 niveles de la CS. En la figura 2.5 se puede ver que en el nivel 1 de la subred 3 se localizan ocho agentes, en el nivel 2 se encuentran nueve agentes y en el nivel 3 se localizan cuatro agentes. En la misma figura se observa que ocho canales se integran de un solo agente (los canales 11A, 15A, 16A, 17A y 18A). El canal 12A tiene cuatro suministradores mientras que el canal 13A cuenta con un suministrador. El canal 14A tiene ocho suministradores distribuidos en los tres niveles de la subred 3.

Obsérvese que los agentes 1A, 2A y 4A del nivel 3 (indicados con (*)) también forman parte de las subredes 1 y 2, sólo que éstos se localizan en el nivel 1 de la estructura de estos subsistemas.

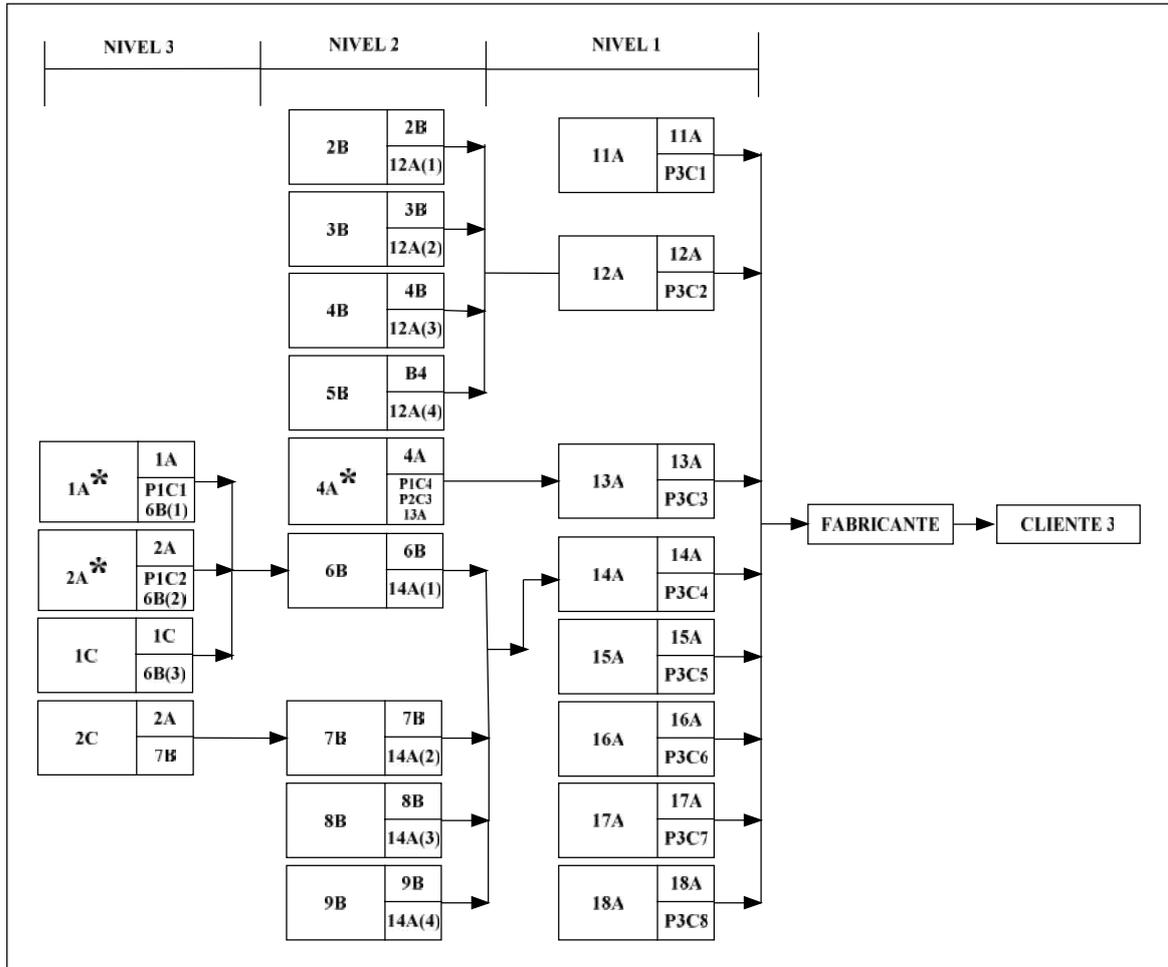


Figura 2.5. Estructura estática de la subred 3.

Los agentes 12A y 14A tienen la mayor cantidad de suministradores de la CS total (ver figura 2.5). En el caso del agente 12A, éste cuenta con 4 suministradores que se localizan en el nivel 2 (agentes 2B, 3B, 4B, y 5B). El agente 14A es suministrado por 4 agentes ubicados en el nivel 2 (agentes 6B, 7B, 8B y 9B). El agente 6B (nivel 2) es suministrado por los agentes 1A, 2A y 1C del nivel 3 de la subred. El agente 7B es suministrado por el agente 2C, que también pertenece al nivel 3 de este subsistema.

2.3.4. Estructura estática total de la Cadena de Suministro.

La estructura estática total de la CS (ver figura 2.6) es el resultado de la integración de las tres subredes analizadas anteriormente. La CS total tiene: 18 suministradores en el nivel 1; 9 suministradores en el nivel 2 y 2 suministradores en el nivel 3. Como se indicó en los subapartados anteriores, las subredes comparten algunos agentes en distintos niveles de la CS. Por ejemplo, el agente 4A(*) se localiza en el nivel 1 de las subredes 1 y 2, mientras que este mismo agente se ubica en el nivel 2 de la subred 3. Los agentes 1A(*) y 2A(*) proveen de componentes a las subredes 1 y 2 desde el nivel 1 y suministran a la subred 3 desde el nivel 3.

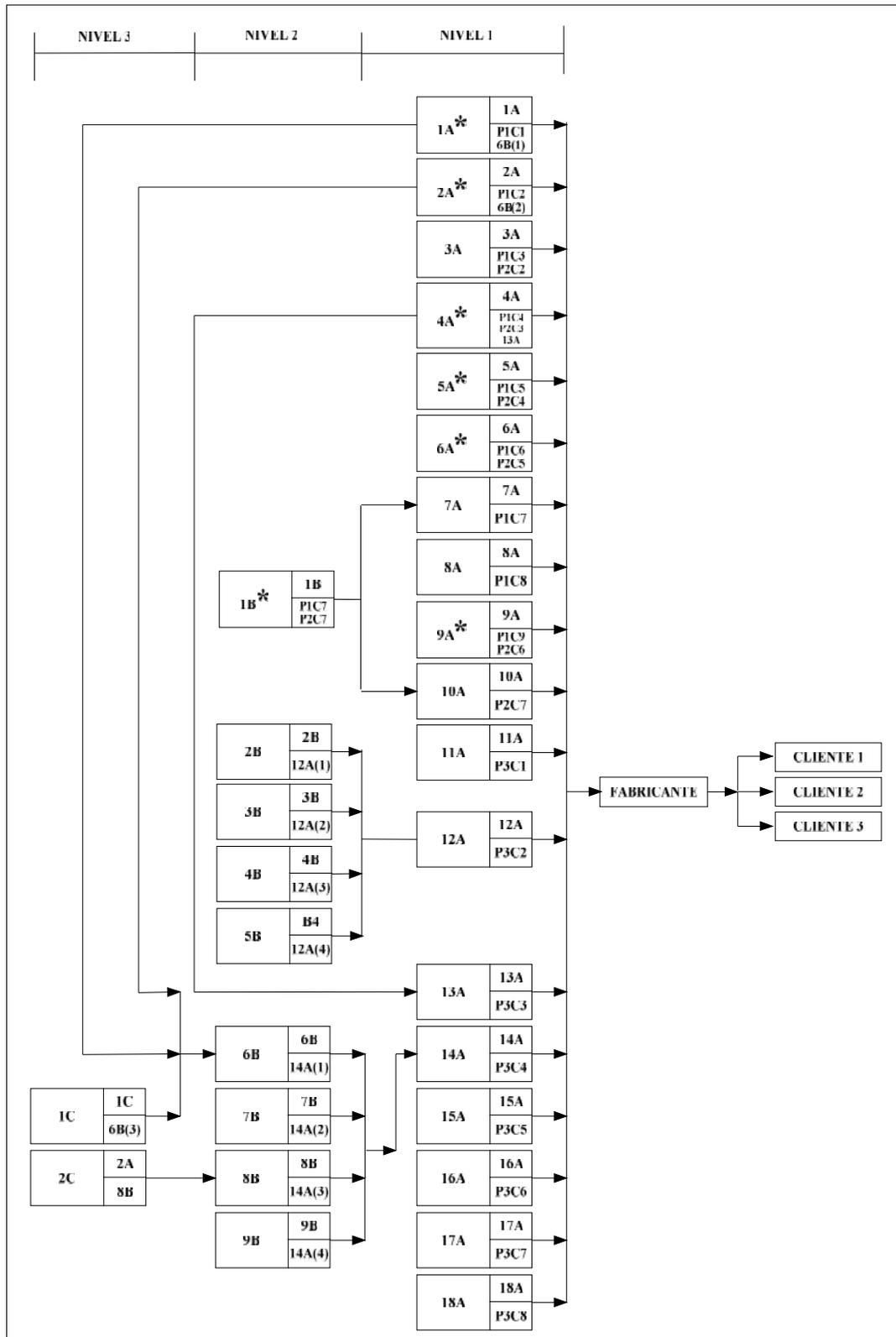


Figura 2.6. Estructura estática total de la Cadena de Suministro analizada.

En conclusión se puede afirmar que la estructura de la CS de esta investigación se integra de un fabricante principal, 29 suministradores distribuidos en los 3 niveles del sistema logístico y 3 clientes (ver figura 2.6). Estas 33 organizaciones forman una estructura estática bastante compleja, la cual se complementa con la estructura dinámica de la CS.

2.4. Estructura dinámica de la Cadena de Suministro.

La estructura dinámica de la Cadena de Suministro (CS) se caracteriza por tres flujos importantes que enlazan a sus agentes: el flujo de información, el flujo de componentes y el flujo financiero. La información recogida del sistema del mundo real hace pensar que la gestión de estos tres flujos en la CS es por demás complicada, especialmente por lo intrincada que resulta su estructura estática. En este apartado se explica desde un enfoque de sistemas la interrelación de los tres flujos de la CS, para comprender ampliamente la dinámica integral de su funcionamiento. El flujo de información que recorre la CS se compone de los pedidos de los clientes, las políticas de suministro del fabricante y de los suministradores; estas políticas se identifican como Políticas de Suministro Vigentes (PSV) a lo largo del presente estudio. El flujo de componentes es la materia prima que recorre la CS desde su último nivel hasta llegar al fabricante, para que éste lo convierta en productos que entrega a sus clientes. Finalmente, el flujo financiero se integra por el coste anual de gestión de inventario de los agentes de la CS.

El fabricante cree que sus PSV han sido efectivas para gestionar el suministro de componentes de su organización, debido a que generalmente cuenta existencias suficientes para poder cumplir con los pedidos de sus clientes de forma oportuna. Pero el fabricante también cree que tiene cantidades excesivas de componentes en *stock* en ciertas temporadas del año, lo cual incrementa su coste operativo. Por lo tanto, el fabricante considera conveniente mejorar la operativa de sus actuales políticas de suministro para optimizar el coste de gestión de su inventario, y en consecuencia, pueda mantener el precio de venta de sus productos a un nivel competitivo. El fabricante desea optimizar las PSV de los siguientes suministradores:

- Agentes de la subred 1: 3A, 4A y 7A.
- Agentes de la subred 2: 2A, 5A y 10A.
- Agentes de la subred 3: 12A y 14A.

La operativa de las PSV del fabricante con los suministradores indicados anteriormente se describe en los siguientes apartados, de acuerdo con los criterios que se explican a continuación:

- El múltiplo de venta. Es la cantidad mínima de componentes que vende el proveedor en cada suministro.
- El plazo de entrega de los componentes (expresado en días).
- La percepción de los agentes sobre la intensidad de su demanda.
- El lote de compra. Es la cantidad de componentes que compran los agentes de la CS.
- El punto de reorden. Indica el momento en que los agentes de la CS deben colocar comandas a sus proveedores para resuministrarse, en función del nivel de sus existencias.

El fabricante proporcionó la información asociada a las PSV que tiene con los suministradores del nivel 1. Las PSV de los suministradores de los niveles 2 y 3 se definieron con ayuda del fabricante, aprovechando su experiencia de bastantes años de trabajo con ellos. Por lo tanto, a partir de esta perspectiva fue posible definir la totalidad de las PSV de los agentes de la CS.

2.4.1. Estructura dinámica de la subred 1.

El código de los agentes de la subred 1 y de sus componentes se encuentra en la tabla 2.3. Las PSV del fabricante con los agentes 3A, 4A y 7A se encuentran en la tabla 2.4, en donde se especifica el múltiplo de venta de 500 unidades de componentes que venden los suministradores. El fabricante adquiere componentes de acuerdo a su percepción sobre la intensidad de su demanda. Por ejemplo, si el fabricante percibe un alto incremento de su demanda, comprará 5.500 unidades a cada proveedor y se resuministrará cuando sus existencias disminuyan a 2.500 unidades.

Canal	Fabricante	Proveedores					
		Nivel 1		Nivel 2		Nivel 3	
	Componente	Agente	Componente	Agente	Componente	Agente	Componente
PIC3	PIC3	3A	3A	-		-	
PIC4	PIC4	4A	4A				
PIC7	PIC7	10A	10A	1B	1B		

Tabla 2.3. Agentes de la subred 1.

Fabricante	Componente	Agente	Plazo de entrega	Múltiplo de venta	Percepción de la demanda	Lote de compra	Punto de reorden
	PIC3	3A	1-2	500	Baja	3.500	2.000
	PIC4	4A	2-3		Media	4.500	2.500
	PIC7	7A	2-3		Alta	5.500	2.500

Tabla 2.4. PSV del fabricante con los agentes de la subred 1.

La operativa de las PSV de los agentes A, 4A, 7A y 1B es similar a las políticas del fabricante (ver tabla 2.5), debido a que tienen establecido un múltiplo de venta (500 unidades) y un plazo de entrega convenido con sus proveedores.

Nivel de la subred	Agente	Componente	Plazo de entrega	Múltiplo de venta	Percepción de la demanda	Lote de compra	Punto de reorden
1	3A	3A	3-4	500	Baja	4.000	2.000
					Media	6.000	2.500
					Alta	7.000	3.500
	4A	4A	2-4	1.000	Baja	3.000	2.000
					Media	4.500	2.000
					Alta	6.000	3.000
7A	7A	3-4	500	Baja	4.000	2.500	
				Media	5.000	2.000	
				Alta	7.000	3.000	
2	1B	1B	4-5	500	Baja	3.500	3.000
					Media	5.500	2.000
					Alta	7.500	3.500

Tabla 2.5. PSV de los agentes de la subred 1.

2.4.2. Estructura dinámica de la subred 2.

El código de los agentes de la subred 2 y de los componentes que suministran se encuentra en la tabla 2.6. Los agentes 2A, 5A y 10A tienen un múltiplo de venta al fabricante de 1.000 unidades (ver tabla 2.7). El fabricante compra cantidades de componentes según su percepción sobre la demanda. Por ejemplo, si considera que su producto 2 tendrá una baja demanda en días próximos, entonces comprará 4.000 unidades de cada componente P2C1, P2C4 y P2C7, para resumministrarse cuando disponga de 2.000 unidades de cada uno de ellos.

Canal	Fabricante	Proveedores					
		Nivel 1		Nivel 2		Nivel 3	
	Componente	Agente	Componente	Agente	Componente	Agente	Componente
P2C1	P2C1	2A	2A	-		-	
P2C4	P2C4	5A	5A				
P2C7	P2C7	10A	10A	1B	1B		

Tabla 2.6. Agentes de la subred 2.

Fabricante	Componente	Agente	Plazo de entrega	Múltiplo de venta	Percepción de la demanda	Lote de compra	Punto de reorden
	P2C1	2A	3-5	1.000	Baja	4.000	2.000
	P2C4	5A	2-4		Media	5.000	2.000
	P2C7	10A	3-4		Alta	6.000	3.000

Tabla 2.7. PSV del fabricante con los agentes de la subred 2.

Las PSV de los agentes 2A, 5A, 10A y 1B (ver tabla 2.8) operan de forma similar a las políticas de fabricante. Como se puede ver, estos agentes son suministrados en diversos plazos de entrega con múltiplos de venta que pueden ser de 500 o 1.000 unidades de componentes, según el proveedor. Al igual que ocurre con el fabricante, la decisión de los suministradores sobre la cantidad de componentes que deben comprar depende de su percepción sobre la demanda.

Nivel de la subred	Agente	Componente	Plazo de entrega	Múltiplo de venta	Percepción de la demanda	Lote de compra	Punto de reorden
1	2A	2A	3-5	500	Baja	5.000	2.000
					Media	6.000	2.500
					Alta	7.000	3.500
	5A	5A	3-4	1.000	Baja	4.000	2.000
					Media	6.000	2.000
					Alta	7.000	3.000
	10A	10A	2-4	500	Baja	5.000	2.500
					Media	6.000	2.500
					Alta	8.000	3.000
2	1B	1B	3-6	1.000	Baja	4.000	2.000
					Media	5.000	3.000
					Alta	7.000	4.000

Tabla 2.8. PSV de los agentes de la subred 2.

2.4.3. Estructura dinámica de la subred 3.

La subred 3 es la más compleja del sistema total debido a que cuenta con una estructura estática de 3 niveles. De acuerdo con la información de la tabla 2.9, el fabricante es suministrado por los agentes 12A y 14A con los componentes P3C2 y P3C4, respectivamente. El agente 12A recibe el componente 12A(1) del agente 2B (localizado en el nivel 2). De igual forma, esto mismo ocurre con los componentes 12A(2), 12A(3) y 12A(4) en correspondencia con los agentes 3B, 4B y 5B (nivel 2). El agente 14A es suministrado por los agentes 6B, 7B, 8B y 9B (nivel 2). Obsérvese en la tabla 2.9 que el agente 6B es suministrado por los agentes 1A, 2A y 1C (ubicados en el nivel 3), mientras que el agente 7B es suministrado por el agente 2C (nivel 3).

Canal	Fabricante	Proveedores					
		Nivel 1		Nivel 2		Nivel 3	
		Agente	Componente	Agente	Componente	Agente	Componente
P3C2	P3C2	12A	12A(1)	2B	2B	-	
			12A(2)	3B	3B		
			12A(3)	4B	4B		
			12A(4)	5B	5B		
P3C4	P3C4	14A	14A(1)	6B	6B(1)	1A	1A
					6B(2)	2A	2A
					6B(3)	1C	1C
			14A(2)	7B	7B	2C	2C
			14A(3)	8B	8B	-	
14A(4)	9B	9B					

Tabla 2.9. Agentes de la subred 3.

En la tabla 2.10 se observa que los agentes 12A y 14A tiene un múltiplo de venta de 1.000 unidades, mientras que el tamaño del lote de compra del componente P3C2 varía entre 4.000 y 6.000 unidades. El lote de compra del componente P3C4 varía de 5.000 a 7.000 unidades. El fabricante se resuministra cuando su inventario disminuye a la cantidad indicada por el punto de reorden, el cual varía entre 2.000 y 4.000 unidades, según el componente.

La tabla 2.11 contiene las PSV del agente 12A con sus proveedores. Se observa que el agente 12A recibe 4 tipos de componentes (12A(1) 12A(2), 12A(3), 12A(4)). Los proveedores de estos componentes tienen un plazo de entrega que puede variar entre 2 y 5 días con un múltiplo de venta de 1.000 unidades.

Fabricante	Componente	Agente	Plazo de entrega	Múltiplo de venta	Percepción de la demanda	Lote de compra	Punto de reorden
	P3C2	12A	3-5	1.000	Baja	4.000	2.000
Media					5.000	3.000	
Alta					6.000	4.000	
P3C4	14A	3-5	1.000	Baja	5.000	2.000	
				Media	6.000	2.500	
				Alta	7.000	3.000	

Tabla 2.10. PSV del fabricante con los agentes de la subred 3.

Nivel de la subred	Agente	Componente	Plazo de entrega	Múltiplo de venta	Percepción de la demanda	Lote de compra	Punto de reorden
1	12A	12A(1)	3-4	1.000	Baja	5.000	2.000
		12A(2)	2-4		Media	6.000	2.500
		12A(3)	3-5		Alta	7.000	2.500
2	2B	2B	3-4	1.000	Baja	6.000	2.000
					Media	7.000	2.000
					Alta	8.000	3.000
	3B	3B	1-4	1.000	Baja	7.000	3.500
					Media	8.000	4.000
					Alta	9.000	4.500
	4B	4B	2-5	1.000	Baja	5.000	3.000
					Media	6.000	3.500
					Alta	7.000	4.000
	5B	5B	1-5	1.000	Baja	5.000	2.000
					Media	6.000	2.000
					Alta	7.000	2.500

Tabla 2.11. PSV de los agentes del canal P3C2 de la subred 3.

El lote de compra que habitualmente adquiere el agente 12A puede ser de 5.000, 6.000 o 7.000 unidades, según su percepción sobre la demanda (ver tabla 2.11). Por lo tanto, si el agente 12A cree que la intensidad de su demanda es alta, entonces comprará 7.000 unidades de cada tipo de componente. Si el agente 12A considera que la demanda es de intensidad baja, colocará un pedido de 5.000 unidades para resumistrar su inventario.

Las PSV de los proveedores del agente 12A (nivel 2) tienen un múltiplo de venta de 1.000 unidades con un plazo de entrega de hasta 5 días, según el suministrador (ver tabla 2.11). El lote de compra para los agentes del nivel 2 varía de 5.000 a 9.000 unidades, de acuerdo con la percepción de su demanda. Por ejemplo, el agente 3B tiene un múltiplo de venta de 1.000 unidades y un plazo de entrega que varía de 1 a 4 días. Si el agente 3B percibe que su demanda será de intensidad alta, entonces colocará un pedido de 9.000 unidades y se resumistrará cuando tenga 4.500 unidades

El agente 14A recibe 4 tipos de componentes (14A(1), 14A(2), 14A(3) y 14A(4)) de los agentes 6B, 7B, 8B y 9B (ver tabla 2.12). Se observa que los agentes 6B, 7B, 8B y 9B tienen un múltiplo de venta de 1.000 unidades y un plazo de entrega que varía de 3 a 5 días. Los proveedores de los agentes de los niveles 2 y 3 tienen un mínimo de venta de 500 o 1.000 unidades dependiendo el agente.

La información de la tabla 2.12 indica que el agente 14A habitualmente compra lotes de 7.000, 8.000 o 9.000 unidades, según su percepción sobre la demanda. El lote de compra de los agentes del nivel 2 y del nivel 3 es de tamaño muy variado, debido a que el tamaño del lote es de 5.000 unidades como mínimo, como sucede con los agentes 8B y 2C. Pero puede llegar a ser de hasta 10.000 unidades como máximo, tal como ocurre con los agentes 7B y 9B.

Nivel de la subred	Agente	Componente	Plazo de entrega	Múltiplo de venta	Percepción de la demanda	Lote de compra	Punto de reorden	
1	14A	14A(1)	3-4	1.000	Baja	7.000	2.000	
		14A(2)	3-5		Media	8.000	3.000	
		14A(3)	3-4		Alta	9.000	4.000	
		14A(4)	3-5					
2	6B	6B(1)	3-4	1.000	Baja	7.000	2.500	
		6B(2)	1-2		Media	8.000	3.500	
		6B(3)	1-2		Alta	9.500	3.500	
	7B	7B	7B	2-4	500	Baja	8.000	3.000
						Media	9.000	3.500
						Alta	10.000	4.000
	8B	8B	8B	2-4	500	Baja	5.000	2.000
						Media	7.500	3.000
						Alta	9.000	4.000
	9B	9B	9B	3-5	1.000	Baja	6.500	2.000
						Media	8.000	3.500
						Alta	10.000	4.500
3	1A	1A	2-5	500	Baja	5.500	2.000	
					Media	6.500	2.000	
					Alta	9.500	2.500	
	2A	2A	2A	1-4	1.000	Baja	6.000	2.000
						Media	8.000	3.000
						Alta	9.000	3.500
	1C	1C	1C	1-3	500	Baja	6.500	2.000
						Media	7.500	2.000
						Alta	9.500	2.500
2C	2C	2C	2-4	1.000	Baja	5.000	2.000	
					Media	6.000	2.500	
					Alta	9.000	3.000	

Tabla 2.12. PSV de los agentes del canal P3C4 de la subred 3.

2.5. Existencias anuales del fabricante y su coste de gestión.

El análisis de la información del fabricante hace suponer que sus existencias se incrementan por la operativa de las Políticas de Suministro Vigentes (PSV) de la Cadena de Suministro (CS). Los datos de las existencias anuales del fabricante y del coste anual de su gestión se presentan en las figuras 2.7 y 2.8.

La información recogida del sistema indica que el fabricante compra a la subred 1 la cantidad de 213.371 unidades del componente tipo P1C1, y también, compra la cantidad de 220.692 unidades del componente tipo P1C3 durante el año. La cantidad de unidades del componente tipo P1C7 que compra el fabricante es de 206.397 unidades al año (ver figura 2.7).

El fabricante compra anualmente a la subred 2 la cantidad de 121.965 unidades del componente tipo P2C1 y le compra, también, 116.409 unidades del componente tipo P2C4 (ver figura 2.7). El

fabricante compra a la subred 2 la cantidad de 117.438 unidades de componentes del tipo P2C7 al año. El fabricante es provisto por la subred 3 de 127.314 unidades del componente P3C2 y 130.352 unidades del componente P3C4 al año, como se puede ver en la figura 2.7.

De acuerdo con la información de la figura 2.7 la subred 1 suministra al fabricante, prácticamente, el doble de la cantidad de unidades de componentes que suministra la subred 2 o la subred 3. Esta situación se debe a que las ventas anuales del producto 1 son mayores (188.240 unidades) que las ventas del producto 2 (99.090 unidades) y del producto 3 (114.467 unidades), como se puede ver en el anexo A.

El análisis de la información del sistema hace suponer que las PSV incrementan las existencias del fabricante, y en consecuencia, aumenta de forma excesiva el coste anual de gestión de inventario. La figura 2.8 muestra el coste anual de gestión de inventario del fabricante, en relación al tipo de componentes suministrados por las subredes 1, 2 y 3.

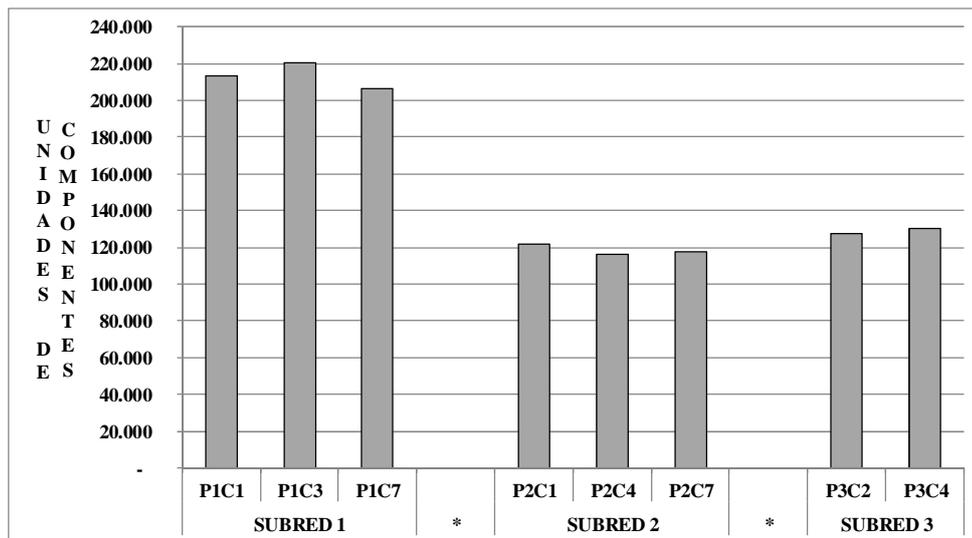


Figura 2.7. Existencias del fabricante.

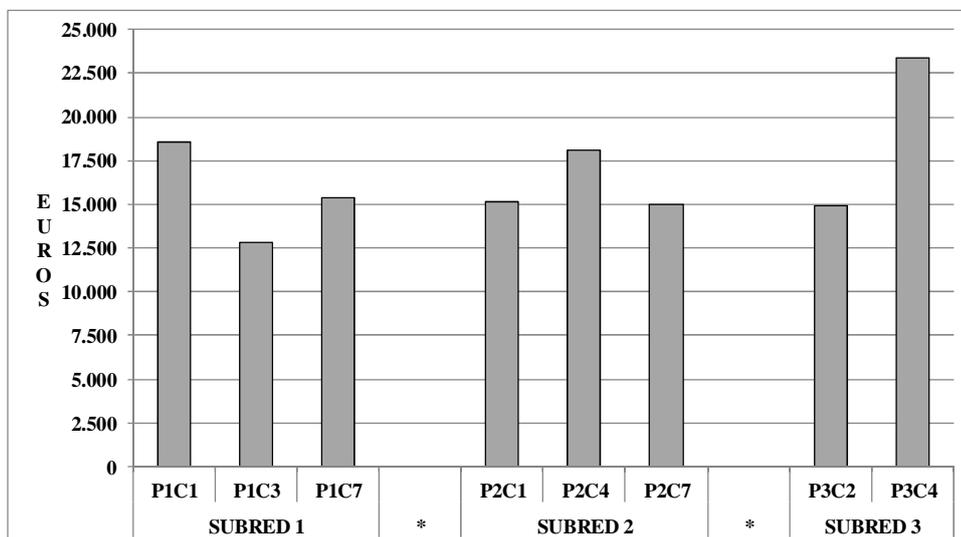


Figura 2.8. Coste anual de gestión de inventario del fabricante.

El fabricante tiene el siguiente coste anual de gestión de inventario para los componentes suministrados por la subred 1 (ver figura 2.8): el componente P1C1 tiene un coste de 18.584 euros; el componente P1C3 tiene un coste de 12.851 euros y el componente P1C7 tiene un coste de 15.378 euros. Para los componentes suministrados por la subred 2, el fabricante tiene un coste anual de gestión de 15.114 euros para el componente P2C1 y para el componente P2C4 de 18.105 euros. Para el componente P2C7 el coste de gestión es de 14.992 euros al año.

El fabricante tiene un coste de gestión de inventario para el componente P3C2 de 14.857 euros al año y para el componente P3C4 de 23.423 euros al año (ver figura 2.8). Los componentes P3C2 y P3C4 son provistos por la subred 3.

Siguiendo con la figura 2.8 se observa que el mayor coste anual de gestión de inventario del fabricante corresponde a los componentes suministrados por la subred 1. Esta situación se debe a que esta subred provee de una gran cantidad de unidades de componentes al fabricante para que elabore el producto 1, el cual es de sus artículos de mayor venta en el mercado. Las ventas del producto 1 son mayores que las ventas de los productos 2 y 3 (ver anexo A). Sin embargo, los productos 2 y 3 también contribuyen a incrementar los ingresos del fabricante en gran medida, debido a que los vende a clientes que elaboran productos de gama alta, por lo que consigue un mayor margen de ganancia.

Después de analizar la información que contiene este capítulo, se puede concluir que el fabricante se interesa en optimizar el coste de operación con las subredes de suministro, con la meta de mantener sus precios competitivos en el mercado global.

2.6. Conclusiones.

La información del sistema del mundo real contiene una cantidad significativa de datos relacionados a dos aspectos relevantes de la Cadena de Suministro (CS) que se analiza en este estudio: la estructura estática y la estructura dinámica. La examinación de la información del sistema ayuda a conocer que la CS posee una estructura organizativa de 3 niveles que incorpora a 33 organizaciones: el fabricante principal, 29 agentes que forman la red de suministro y tres clientes.

La intrincada estructura del sistema objeto de estudio es difícil de comprender en un principio, pero con ayuda del enfoque de sistemas es posible descubrir que el sistema total se integra por tres subsistemas de suministro, los cuales se identifican como subred 1, subred 2 y subred 3 a lo largo de este trabajo.

Siguiendo con los tres subsistemas que integran el sistema total, se sabe también que la estructura estática de la subred 1 y de la subred 2 son muy parecidas, en cuanto al número de organizaciones que incorporan y a su disposición estructural. En relación a la estructura dinámica de las subredes 1 y 2 se puede afirmar que también son bastante similares. Por lo tanto, bajo la idea de mejorar la operativa del suministro del sistema total, se posibilita el aprovechar la similitud estructural de las subredes 1 y 2 para comprobar la efectividad de nuevas formas de gestión del suministro en subsistemas con estructuras parecidas.

La subred 3 presenta un mayor nivel de complejidad estructural en relación con las subredes 1 y 2, debido a que su estructura organizativa cuenta con 21 suministradores. Por lo tanto, es posible que el diseño de políticas enfocadas a mejorar la operativa de la subred 3 se caracterice por tener un mayor alcance en la gestión de inventario en este subsistema. Con el enfoque de sistemas se pudo conocer que las tres subredes de la CS comparten suministradores en común (ver apartado 2.3), lo cual significa que es práctica habitual para el fabricante gestionar el suministro de diversos componentes de un solo proveedor. Es posible que la compartición de agentes entre las subredes de suministro sea un elemento que ayude a construir una estrategia enfocada a mejorar el rendimiento global de la CS.

El análisis de la estructura dinámica de la CS indica que la gestión del flujo de componentes en la subred 3 puede ser más compleja que en las subredes 1 y 2. Sin embargo, la cantidad de componentes que la subred 1 suministra al fabricante es mucho mayor, casi el doble, que la cantidad que suministra la subred 2 y la subred 3 (ver figura 2.7). Por lo tanto, se puede deducir que la intensidad del flujo de componentes y la disposición de los agentes en la estructura de las subredes, son dos elementos fundamentales en la construcción de la estrategia de suministro que busca optimizar el rendimiento del sistema total.

El análisis de la información a través del enfoque de sistemas ayuda a identificar los siguientes elementos que dinamizan el funcionamiento de la CS bajo estudio: el comportamiento de las ventas del fabricante y las políticas de suministro de los agentes de la red logística. En relación a las políticas de suministro, los agentes las operan de forma separada, es decir, no suministran al fabricante de forma integral. Por lo tanto, es posible que esta situación genere fuertes fluctuaciones de inventario en diversos puntos de la CS, y en consecuencia, se incremente el inventario del fabricante y sus costes de gestión de forma significativa (ver figuras 2.7 y 2.8). La información del sistema hace pensar que las Políticas de Suministro Vigentes (PSV) no son las más adecuadas para gestionar el flujo de componentes en el sistema logístico (ver apartado 2.4). La operativa de las PSV depende, en buena medida, de la percepción de los agentes acerca de la intensidad de su demanda y del múltiplo de venta de componentes establecido por los suministradores.

También, la información del sistema hace suponer que la operativa de las PSV orilla a los agentes a comprar componentes en exceso para evitar la rotura de sus *stocks*. Por lo tanto, el uso de las PSV en combinación con la percepción equivocada de los decisores sobre su demanda, podría originar la escasez de componentes en distintos puntos de la red de suministro, mientras que en otros puntos haya existencias disponibles. Esta situación se explica enseguida.

En la operativa de la red logística bajo estudio se practica un juego de compra-venta de componentes, en donde participan los agentes con el uso de sus actuales políticas de suministro y la percepción acerca de su demanda futura. Este juego de compra-venta puede visualizarse en diversos escenarios, teniendo como condiciones de operación el múltiplo de venta establecido por los suministradores y la pretensión de los agentes de evitar la rotura de sus *stocks*.

Por ejemplo, un escenario puede caracterizarse por la posición de los suministradores en obtener mayores ganancias a través de mínimos de venta más elevados, y por otro lado, se encuentra la posición de los compradores, quienes desean evitar la rotura de sus *stocks* con la compra de cantidades de componentes en exceso. Aparentemente esta transacción económica es conveniente para ambas organizaciones, pero en realidad es contraproducente, debido a que incrementa el coste de gestión de su inventario, y en consecuencia, esto impacta en el rendimiento global de la CS.

Se puede vislumbrar otro posible escenario de este juego de compra-venta en el sistema logístico que se analiza. En este escenario los clientes compran grandes cantidades de componentes con cierta anticipación a la temporada de mayor venta del año, situación que parece conveniente a los proveedores, pues representa ingresos significativos a su organización. Puede ser que estos proveedores en su afán de satisfacer la demanda anticipada, no puedan cumplir con los pedidos de otros clientes interesados en vender sus productos en dicha temporada. Esto podría reducir la cartera de clientes de los proveedores en un futuro cercano, debido a que los clientes que no compraron con anticipación decidan comprar materias primas a otros proveedores.

Los posibles escenarios del juego de compra-venta en el sistema logístico pueden verse aún más ensombrecidos por las malas decisiones de sus agentes, debido a la influencia de la equivocada percepción de la demanda. También, las decisiones de los agentes se vuelven más difíciles en los escenarios de compra-venta, debido a la complejidad de gestionar el flujo de componentes en la intrincada estructura estática de la CS que se estudia. Estos inconvenientes representan un conjunto de elementos que deben considerarse en el diseño de la estrategia global de suministro que se propone en esta tesis.

Finalmente, se puede decir que la información recogida del sistema del mundo real ayuda a tener un amplio panorama sobre la dinámica de la CS de esta tesis. Parece ser que esta información es suficiente para poder diseñar una estrategia de suministro enfocada a mejorar el rendimiento del sistema total, desde la perspectiva del fabricante principal de la CS.

En el siguiente capítulo se presenta el marco teórico de esta investigación, en donde se discute la aportación de los estudiosos acerca de la CS y la gestión de este tipo de sistema organizativo.

Capítulo 3.

Marco teórico.

3.1. Introducción.

La revisión de la literatura de esta tesis se desarrolla del modo en que se presenta en la figura 3.1. Como se puede ver, primero se analizan algunas definiciones de Cadena de Suministro (CS), y posteriormente, se describe la estructura generalizada de este tipo de sistema para comprender la interacción de sus elementos. Después se revisan algunas de las definiciones de Gestión de la Cadena de Suministro (GCS) encontradas en la literatura y se presenta una breve perspectiva sobre la evolución de este concepto a través del tiempo. Enseguida se describe la integración de las áreas funcionales de la organización que dan por resultado la GCS. Posteriormente se discuten los procesos de negocio de la GCS, para poder explicar la perspectiva de los estudiosos sobre cómo gestionar la CS. Los temas revisados hasta esta parte de la tesis se aprovechan para describir en qué consiste el fenómeno organizativo conocido como amplificación de la demanda o Efecto *Bullwhip* (EB).

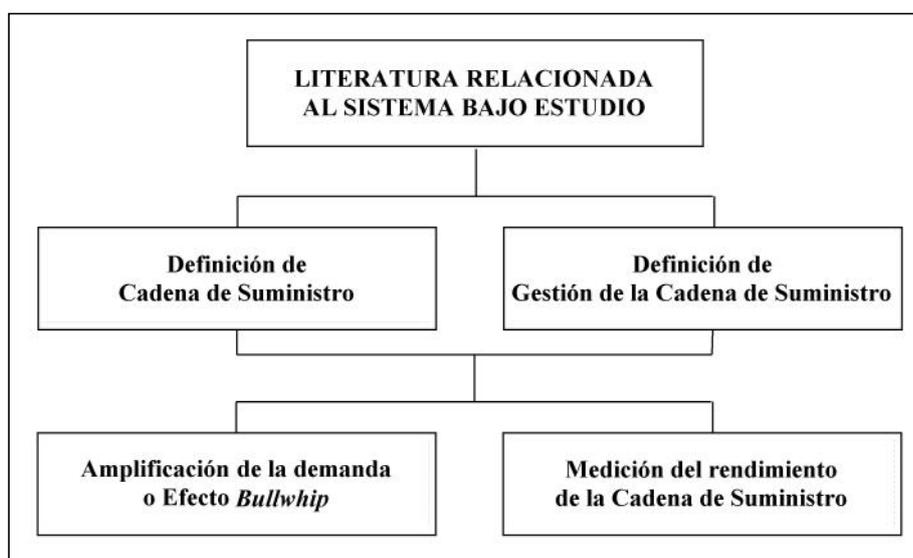


Figura 3.1. Temas del marco teórico de la tesis (capítulo 3).

La discusión sobre el EB abarca las causas que dan origen a este fenómeno y los daños que ocasiona en el funcionamiento en los sistemas logísticos. También, se discuten las maneras de medir el EB y las alternativas existentes para contrarrestar sus efectos en la CS. Posteriormente, se analizan las aportaciones de los estudiosos acerca de la medición del rendimiento de la CS.

3.2. Definición de Cadena de Suministro.

En años recientes se ha observado que la competencia para ganar nuevos mercados entre cadenas de suministro se ha intensificado notablemente. Los directivos juegan un papel importante en esta competencia, debido a que tratan de gestionar actividades enfocadas a ofrecer productos y servicios diferenciados al cliente en términos de calidad, coste y plazo de entrega (Ballou, 2007). Bajo esta premisa, los directivos buscan mejorar la gestión de la Cadena de Suministro (CS) para satisfacer a sus clientes alrededor del mundo. Sin embargo, la dinámica de los mercados enfrenta a los directivos a situaciones cada vez más desafiantes y difíciles de resolver. Por lo tanto, es conveniente que los directivos posean la habilidad de construir estrategias efectivas en potenciar la creación de valor en la CS.

El concepto de CS engloba diversas actividades de creación de valor, por lo que es posible encontrar en la literatura definiciones de CS elaboradas bajo diferentes perspectivas. Algunos autores formulan definiciones sencillas de la CS, como por ejemplo, para Ellram (1991): “La CS es una red de firmas que interactúan para entregar productos o servicios al cliente”. Pero también se pueden encontrar definiciones un poco más elaboradas, como la propuesta por Lummus & Vokurka (1999) “La CS engloba un conjunto de actividades asociadas a la manufactura, ensamble, almacenamiento e identificación para fabricar productos. La CS incluye también actividades relacionadas a la recepción y gestión de los pedidos y a la distribución y entrega de los productos. Las actividades de la CS se supervisan con el soporte de los sistemas de información”.

Entre las definiciones encontradas en la literatura destacan las siguientes. Para Christopher & Towill (2001): “La CS es una red de organizaciones conectadas por flujos de productos y de servicios que son entregados al cliente”. Mentzer *et al.* (2001) proponen que “La CS es un grupo de tres o más organizaciones eslabonadas por flujos directos e inversos de productos, servicios, finanzas e información que abarca a proveedores y a clientes”. Para Geary *et al.* (2006) “La CS es un grupo de organizaciones eslabonadas por flujos de información y de recursos. La CS compra materia prima para fabricar productos de calidad al menor coste que son entregados de forma oportuna a los clientes”.

Durante la revisión de la literatura relacionada a la CS se percibe que hay casi tantas definiciones de este concepto como investigadores del tema. Por lo tanto, con la idea de contar con la definición de una organización de profesionales de la GCS se adopta en este trabajo la propuesta por el *Council of Supply Chain Management Professionals*¹: “La CS eslabona a varias compañías y se caracteriza por el intercambio de materiales e información en el proceso logístico. La CS abarca las actividades de compra de materias primas hasta las relacionadas a la entrega de los productos terminados al usuario final”. Con esta definición, la CS se puede concebir como una asociación de organizaciones enfocada a cumplir con la entrega de productos, en donde la información y el suministro juegan un papel importante en el proceso de creación de valor.

Bowersox *et al.* (2001) plantean que el funcionamiento de la CS se puede comprender con el análisis de su modelo generalizado (ver figura 3.2). La CS se integra de numerosos proveedores de materia prima y una empresa que la transforma en productos, los cuales son entregados a sus clientes a través de una red de distribución. En este contexto, la gestión de las alianzas entre las organizaciones se encarga de coordinar la capacidad de los agentes para crear valor, con recursos asociados a los flujos de información, productos, servicios, finanzas y conocimientos. Por lo tanto, la gestión de las alianzas juega un papel relevante en optimizar el funcionamiento de la CS.

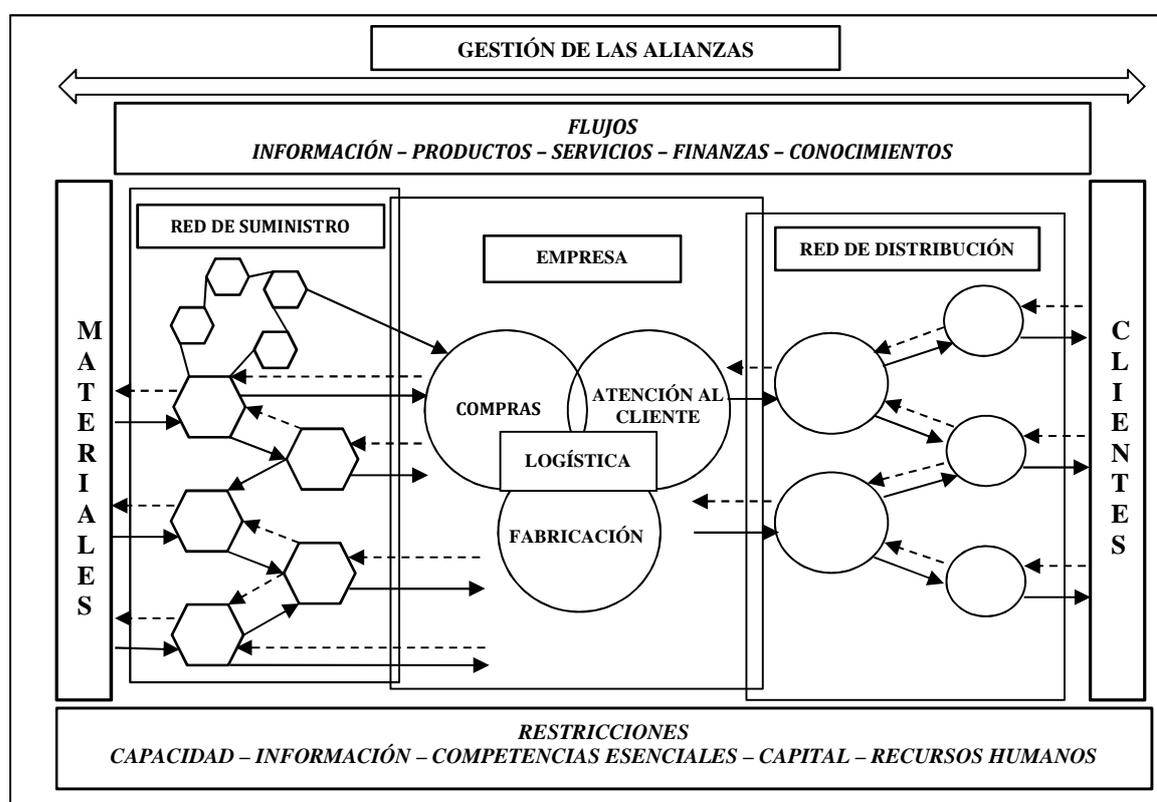


Figura 3.2. Modelo generalizado de la CS (Bowersox *et al.*, 2001).

¹Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP, 2012), antes conocido como Council of Logistic Management (CLM). URL: <http://www.cscmp.org/Website/AboutCSCMP/Definitions/Definitions.asp>. Traducción propia.

La estructura de la CS puede ser bastante compleja debido al número de agentes que la integran y a la manera en que éstos interactúan por medio de sus actividades operativas. Mentzer *et al.* (2001) proponen clasificar la estructura de la CS de acuerdo a su complejidad organizativa. La primera clasificación es CS directa la cual consta de solo tres organizaciones: un fabricante, un suministrador y un cliente. La segunda clasificación se identifica como CS extendida, que incorpora subsuministradores, suministradores, distribuidores y clientes.

La última clasificación de la CS se conoce como CS definitiva, cuya estructura se integra de numerosos suministradores, fabricantes, mayoristas, minoristas y clientes. Estos agentes pueden estar distribuidos alrededor del mundo, lo cual incrementa la complejidad de la estructura de la CS, y en consecuencia, dificulta la coordinación de sus actividades de creación de valor. En este panorama, la GCS es crucial para explotar las capacidades de los agentes de la CS. En el siguiente apartado se abordan temas relacionados a la creación de valor a través de la GCS.

3.3. Definición de Gestión de la Cadena de Suministro.

El concepto de Gestión de la Cadena de Suministro (GCS) ha recibido diversos nombres durante su evolución, tales como suministro integrado, red de suministro y gestión de la base de suministro. También, la CS ha tenido nombres relacionados a la construcción de alianzas o al concepto de valor, como por ejemplo: alianza suministrador-comprador; alianza estratégica del suministro; gestión del flujo de valor y gestión de la cadena de valor (Amit & Subhash, 2005; Svensson, 2005).

En la literatura se encuentran algunas definiciones de GCS que dan un mayor énfasis a ciertas actividades de la empresa, por ejemplo, la gestión de la información. Para Berry *et al.* (1994): “La GCS incorpora un conjunto de estrategias enfocadas al intercambio de información de las necesidades del mercado, la cual se aprovecha para desarrollar nuevos productos”. La propuesta de Shapiro (2004) también enfatiza la importancia de la gestión de la información: “La GCS es un nuevo paradigma en el entorno de los negocios orientado a integrar las actividades de compra, manufactura y distribución con el soporte de las tecnologías de la información”.

Algunas definiciones visualizan la GCS como una filosofía de gestión. Por ejemplo, Min & Mentzer (2000) sostienen que “La GCS es una filosofía de negocios integral que gestiona flujos de materia prima desde el suministrador hasta el cliente”. Para Lambert & Cooper (2000) “La GCS es una filosofía de gestión de actividades de negocio de la cadena de *marketing*, enfocada a incrementar la competitividad y la rentabilidad de la organización”.

Las definiciones de GCS encontradas en la literatura hacen suponer un intento de los estudiosos en formular una definición terminante de este concepto. En esta investigación se ha decidido, sin desestimar las definiciones antes citadas, adoptar la definición del *Council of Supply Chain Management Professionals*: “La GCS abarca la planificación y gestión de las actividades involucradas en la compra, suministro, conversión y gestión logística”.

El concepto de GCS ha experimentado un largo proceso de evolución en el campo académico y de la industria que es importante revisar, para poder comprender el alcance de este tipo de gestión en la creación de valor en las organizaciones. Los trabajos de Metz (1998) y Ballou (2007) ayudan a visualizar esta evolución a través del tiempo. Metz define cuatro estados evolutivos de la GCS, mientras que Ballou indica las áreas de la organización que fueron integrándose para dar por resultado la GCS (ver figura 3.3). El primer estado tiene lugar en los años 60, época en la que los directivos dan mayor importancia a los procesos relacionados a la distribución física, especialmente a las actividades de almacenamiento y transporte. El segundo estado de la evolución de la CS toma lugar en la época de los 70, en donde las organizaciones prestan mayor interés a las actividades de compra y gestión de la demanda de sus clientes; en este segundo estado se populariza en las empresas el concepto de Logística. Ballou sostiene que la integración de la distribución física con la gestión de los materiales da origen al concepto de Logística.

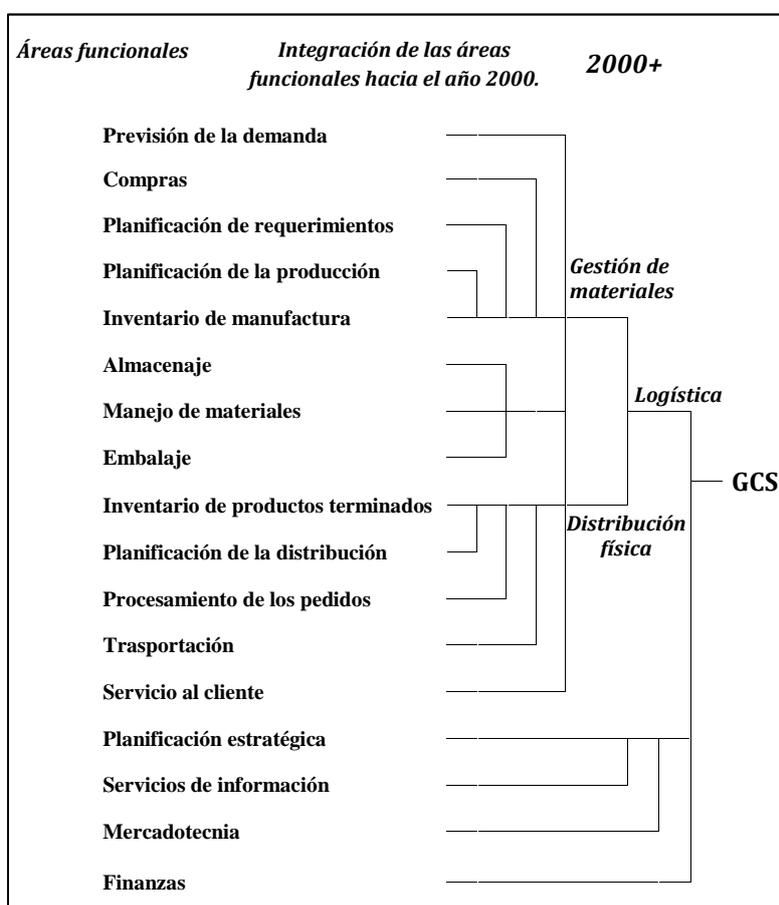


Figura 3.3. Áreas funcionales de la GCS (Ballou, 2007).

El tercer estado evolutivo de las GCS se desarrolla en la época de los 80, en donde los directivos se interesan en planificar el suministro de sus organizaciones con estrategias más ambiciosas, las cuales se caracterizan por incorporar procesos exigentes para la selección de proveedores. En este tercer estado se acuñó el término GCS en sector industrial.

Finalmente, el cuarto estado de la evolución de la GCS se desarrolla en la actualidad, en donde parece surgir el concepto de Super GCS. Este concepto se caracteriza por incorporar áreas estratégicas de la organización, tales como: mercadotecnia, finanzas, desarrollo del producto y servicio al cliente con el objeto de fortalecer la gestión de los procesos de negocio de la CS.

La gestión de los procesos de negocio de la CS incorpora un conjunto de estrategias enfocadas a sincronizar la compra de materia prima, la producción de bienes y su venta al público (ver figura 3.4). La gestión de los procesos de negocio también incorpora actividades que aseguran la creación de valor a largo plazo, como la logística, la mercadotecnia, las finanzas y la investigación y desarrollo (I+D). Es habitual que los agentes de la CS se dediquen a planificar y llevar a cabo este tipo de actividades de forma individual. Por lo tanto, la importancia de la GCS radica en coordinar la gestión de los procesos de negocio de los agentes de forma integral, con el objeto de potenciar las actividades intra-organizativas e inter-organizativas de creación de valor de la CS.

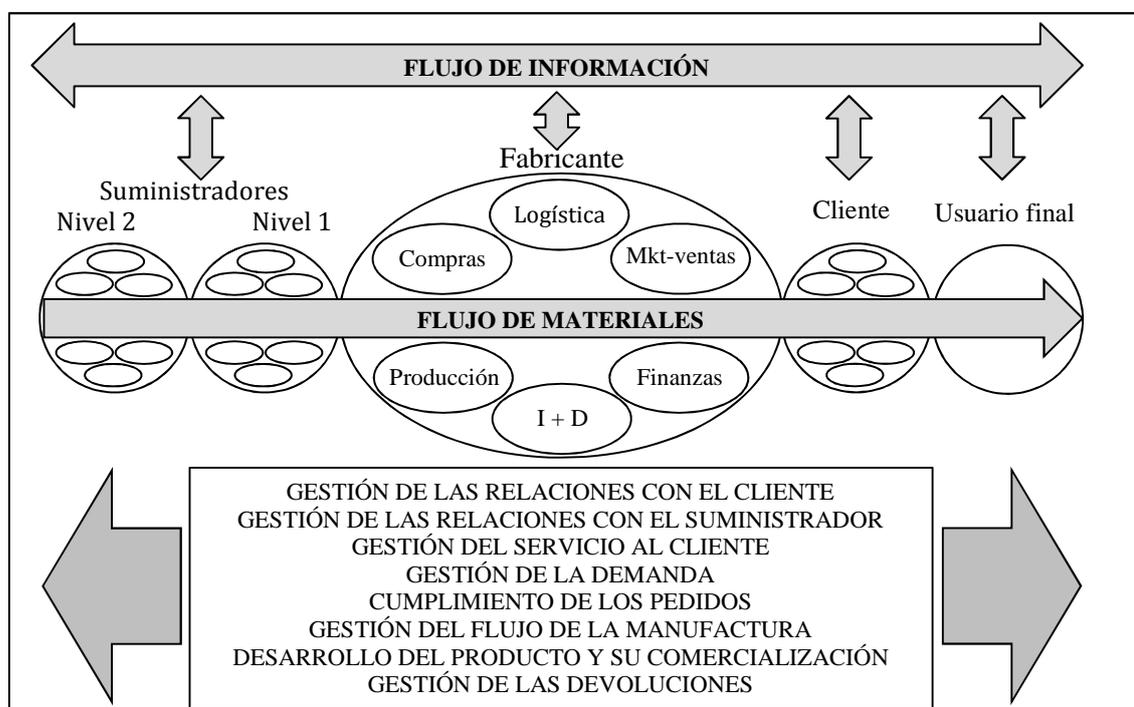


Figura 3.4. Gestión de los procesos de negocio de la CS (SCMI²)

² Supply Chain Management Institute (SCMI). URL: <http://www.ijlm.org/Our-Relationship-Based-Business-Model.htm>. Traducción propia.

La coordinación estratégica de los procesos de negocio tiene como elemento fundamental la gestión del flujo de información y del flujo de materiales a lo largo de la CS. El flujo de información integra a las organizaciones del sistema por medio del intercambio de datos de las actividades de creación de valor. El flujo de materiales eslabona a los agentes del sistema con el paso de materia prima a la que agregan valor con sus actividades operativas. Por lo tanto, se puede afirmar que los flujos de información y de materiales ayudan a los decisores de la CS a tener una mayor visibilidad sobre la operativa de su organización en diversos escenarios.

La creación de valor a largo plazo es el eje vector de la gestión de los procesos de negocio de la CS. En este sentido, el enfoque estratégico de la GCS abarca la gestión de las relaciones con los proveedores. Esto implica que los decisores de la CS deben seleccionar a los proveedores con capacidad de crear valor en función a ciertos aspectos, tales como: la participación en el desarrollo de nuevos productos; la disposición de compartir la información de sus actividades operativas y el nivel de involucramiento en los procesos de mejora del suministro.

Los proveedores una vez ya elegidos como integrantes de la CS deben colaborar en los procesos de negocio enfocados a satisfacer al cliente, entre los cuales se encuentran: la gestión de la demanda, la gestión de las relaciones con el cliente y la gestión del servicio al usuario final. Por lo tanto, la meta de la gestión de los procesos de negocio es maximizar la capacidad individual de los proveedores, con la idea crear valor de forma coordinada por medio de alianzas estratégicas. De aquí la importancia del enfoque estratégico de la GCS para sincronizar la operativa de los agentes del sistema total. El enfoque estratégico de la GCS es un tema que ha sido abordado por diversos autores, entre los cuales destacan Mentzer *et al* (2001). Para estos autores la GCS puede tener el enfoque de filosofía de gestión, también puede ser vista como un grupo de procesos de gestión o como gestión de cadenas internegocios.

La GCS como filosofía de gestión visualiza la CS como un grupo de agentes integrados, principalmente, por flujos de información y de materiales. El éxito de este enfoque de GCS depende de la capacidad de los agentes para construir estrategias que potencien el rendimiento del sistema total. Estas estrategias se enfocan a sincronizar las actividades de creación de valor de la CS por medio de la compartición de la información entre sus agentes. Durante la construcción de las estrategias se pueden ir descubriendo los posibles riesgos y las futuras recompensas de los agentes de la CS por trabajar en conjunto. En este contexto la medición del rendimiento de la CS toma un lugar preponderante, debido a que es el instrumento que ayuda a conocer la contribución de los agentes al rendimiento integral del sistema. En otras palabras, la medición del rendimiento de la CS determina si la sincronización de la capacidad de los agentes es efectiva en crear valor para el sistema total.

La gestión de la CS vista como un grupo de procesos de gestión se caracteriza por planificar la producción de los agentes de manera conjunta, cuya meta es cumplir con la demanda de un cliente en específico o satisfacer el consumo de un mercado en particular. La GCS como grupo de procesos de gestión incorpora estrategias de gestión de la demanda del cliente y de gestión de compras, para dar soporte a la gestión de la producción a lo largo de la red logística. La planificación de la producción se realiza por medio de la compartición del flujo de información entre los agentes, con la idea de gestionar de forma efectiva el flujo de materiales que recorre el sistema logístico.

La GCS como gestión de cadenas internegocios se puede entender como la relación estratégica de los agentes de la CS para sincronizar sus capacidades de producción y optimizar sus actividades de suministro. Este tipo de gestión se caracteriza por coordinar diversas estrategias de suministro entre proveedores y clientes para satisfacer diferentes mercados. Se concluye que el elemento fundamental en los diversos enfoques de GCS es la compartición de la información para optimizar el flujo de materiales en la CS. Este elemento es pieza importante en el diseño de estrategias orientadas a potenciar la creación de valor en el sistema logístico.

Los enfoques de GCS anteriormente descritos ayudan a prever la existencia del fenómeno conocido como amplificación de la demanda, cuyos efectos dificultan la creación de valor en la CS. Dada su importancia, en el siguiente apartado se profundiza en conocer este fenómeno organizativo.

3.4. Amplificación de la demanda en la Cadena de Suministro.

La amplificación de la demanda es un fenómeno organizativo que surge durante la operativa de la Cadena de Suministro (CS), cuando la variabilidad de las comandas recibidas por los suministradores es mayor que la variabilidad de los pedidos de los clientes. Esta diferencia de variabilidad distorsiona la información de la demanda, la cual se propaga de forma amplificada a diferentes puntos del sistema. El impacto de la amplificación de la demanda, o Efecto *Bullwhip* (EB), se traduce en fuertes fluctuaciones de inventario a lo largo del sistema, cuya consecuencia principal es el incremento del coste operativo de la CS.

El estudio del EB tiene larga historia, sin embargo sigue siendo un tema de bastante interés en la actualidad. Uno de los pioneros en este tema es Forrester (1958), quien plantea que el intercambio deficiente de información genera la amplificación de la demanda en los sistemas logísticos. Burbidge (1984) sostiene que las estrategias de suministro mal diseñadas son la causa principal de la amplificación de la demanda. Afirma también que la gestión del suministro a través de una estrategia integral que incorpore: la gestión de la producción, la gestión del inventario y la gestión de la información contrarresta de forma efectiva la amplificación de la demanda en los sistemas logísticos.

En la revisión de la literatura se observa que los daños que causa el EB en el rendimiento de la CS son bastante severos. Miragliotta (2006) analiza algunas investigaciones sobre la severidad del EB en industrias del Reino Unido (RU), Estados Unidos (EU) y la Unión Europea (UE). Los resultados del estudio se presentan en la tabla 3.1, en donde se observa que el EB puede tener una intensidad media o severa en la CS de acuerdo con el tipo de industria y el número de niveles del sistema logístico.

La información de estudio indica que es posible la existencia de cadenas de suministro con igual número de niveles, pero con un EB de distinta intensidad; por ejemplo, la CS de la industria de la automoción analizada por Avery *et al.* (1993) es de dos niveles y tiene un EB de intensidad severa, mientras que la CS de la industria de la alimentación analizada por Lee *et al.* (1995) tiene el mismo número de niveles, pero un EB de intensidad media. Las cadenas de suministro de cuatro niveles tienen un EB de intensidad media y severa, según el tipo de industria. Las industrias con CS de tres niveles tienen un EB de intensidad media (ver tabla 3.1).

Los investigadores de la Gestión de la Cadena de Suministro (GCS) identifican cuatro principales causas del EB en los sistemas logísticos. Para Lee *et al.* (1997a) la distorsión de la información es la primera causa del EB en la CS. La distorsión de la información se origina por la mala planificación de los agentes para realizar sus compras. Esta situación puede ser ocasionada por la equivocada percepción de los agentes sobre la dinámica comercial de su entorno y la falta de información de la operativa del sistema. En este contexto los agentes realizan sus compras de forma separada y generalmente en exceso para evitar roturas de *stock*. Si esta medida se practica en diversos puntos de la red logística puede ser vista por otros agentes como un aumento genuino de la demanda, pero en realidad es una distorsión de la información que potencia el EB. El aumento ficticio de la demanda motiva el lanzamiento de un gran número de comandas a lo largo del sistema logístico, lo cual se conoce como volatilidad de la demanda. El resultado final de todo este conjunto de circunstancias tiene un fuerte impacto en el rendimiento integral de la CS.

Autor	Tipo de industria	Niveles de la CS	Intensidad del EB
Avery <i>et al.</i> (1993)	Automoción (EU)	2	Severa
Lee <i>et al.</i> (1995)	Alimentación (EU)	2	Media
Lee <i>et al.</i> (1997a)	Ordenadores	4	Severa
Holmström (1997)	Supermercados (UE)	4	Severa
Taylor (1999)	Automoción (RU)	4	Media
Fransoo & Wouters (2000)	Alimentos perecederos (UE)	4	Media
McCullen & Towill (2001)	Partes mecánicas (UE)	3	Media
El-Beheiry <i>et al.</i> (2004)	Juguetes (UE y EU)	3	Media
Hejazi & Hilmola (2006)	Electrónica y muebles (UE)	3	Media

Tabla 3.1. Características de amplificación de la demanda (Miragliotta, 2006).

Lee *et al.* (1997a) afirman que una estrategia eficaz para contrarrestar el EB en la CS es calcular la previsión de la demanda con la información de los agentes, la cual puede incluir sus criterios de compra y las cantidades de materia prima que adquieren a sus suministradores. Es posible que esta información sea más completa, debido a que puede detallar las condiciones operativas del suministro y el coste de gestión de inventario. Si los agentes comparten la misma información se posibilita la coordinación del suministro de manera integrada, lo cual ayuda a optimizar el nivel de inventario a lo largo del sistema. Por lo tanto, los agentes podrán disponer de existencias suficientes para cumplir con el suministro de forma oportuna, y también, es probable que tomen decisiones más certeras para gestionar su inventario de manera adecuada.

En el proceso de compartición de la información existen dos elementos que pueden afectar la planificación de las compras de la CS: la disparidad de resultados obtenidos de diferentes técnicas de previsión de la demanda y la diversidad de las políticas de suministro de los agentes. Por lo tanto, una propuesta más ambiciosa para planificar las compras de la CS es designar a un solo agente para calcular la previsión de la demanda, con la idea de que diseñe y controle el suministro en la totalidad del sistema.

En el caso de la CS bajo estudio, la información del fabricante contiene datos históricos de sus ventas y el criterio de compra con sus suministradores (ver subapartados 2.4.1, 2.4.2, 2.4.3 y 2.4.4). La información recogida del sistema del mundo real sirve para poder definir las políticas de suministro con las que actualmente operan los agentes de la CS (ver apartado 5.3). Los agentes operan este tipo de políticas de forma separada, es decir, las actividades de suministro no se encuentran planificadas para realizarse de forma integral.

La segunda causa del EB son las políticas de suministro inapropiadas a la operativa del sistema logístico. Geary *et al.* (2006) afirman que los agentes de la CS generan el EB al solicitar más materia prima de la que realmente necesitan, lo cual dificulta la planificación de los proveedores. Si esta práctica ocurre en diversos puntos de la red logística, es probable que el EB se replique con mayor intensidad a lo largo de la CS. En este escenario, la capacidad de suministro de algunos proveedores puede verse rebasada por la cantidad de pedidos que reciben, por lo que invierten en mayores recursos (p.e.: contratar más personal, comprar más maquinaria y equipo) para cumplir con la demanda de forma oportuna. En el momento en que la demanda se normalice, el tiempo de recuperación de la inversión tiende a ser más largo, lo cual se agrava aún más si es que los agentes tienen exceso de mercancías. Las inadecuadas políticas de suministro pueden ocasionar escasez de materia prima en diversos puntos del sistema, mientras que en otros puntos de la red haya cantidades excesivas de materia prima.

Las consecuencias de las políticas de suministro inadecuadas para el sistema logístico se agravan con la mala planificación del transporte de materias primas. Es posible que los proveedores se vean condicionados a enviar lotes de mayor tamaño a los requeridos por los clientes, para poder justificar económicamente el uso de vehículos con gran capacidad de carga. Esta situación es motivada por los descuentos por volumen de venta que ofrece el proveedor a sus clientes. El resultado final de estas acciones es el incremento del inventario de la CS y de su coste de gestión.

Geary *et al.* (2006) sostienen que la forma más conveniente de gestionar la red logística es por medio de una estrategia global de suministro que coordine la operativa de los agentes de forma integral. El diseño de la estrategia integral de suministro tiene como ingrediente principal la compartición de la información de la demanda de la CS, la cual se aprovecha para optimizar el tamaño de los lotes de materia prima que recorren la red logística. Es probable que la estrategia global de suministro aumente la frecuencia de colocar comandas y de transportar materias primas en la CS, pero a pesar del aumento del coste de estas actividades, la optimización del tamaño de los lotes es una alternativa que reduce el coste operativo integral de la CS.

Las actuales políticas de suministro de los agentes de la CS que se estudia se identifican como Políticas de Suministro Vigentes (PSV) (ver subapartados 5.3.1, 5.3.2 y 5.3.3). El modelo de la CS se simula con PSV para obtener resultados del estado actual del sistema y conocer el impacto del EB (ver subapartado 5.3.5). Estos resultados sirven para diseñar una estrategia global de suministro que incorpora las Políticas de Suministro Nuevas (PSN) enfocadas a reducir el EB. El modelo se simula con la estrategia global de suministro para obtener información del comportamiento del sistema y descubrir la efectividad de las PSN en contrarrestar el EB en la CS (ver apartado 5.5).

La tercera causa del EB en la CS es la fluctuación de precios en el mercado. De acuerdo con Lee *et al.* (1997a) algunas empresas aprovechan la temporada de descuentos para comprar gran cantidad de artículos para almacenarlos, y posteriormente, venderlos a precio regular. Esta práctica comercial ocasiona fuertes fluctuaciones de los precios en el mercado, las cuales se intensifican con el aumento de las ventas motivado por las campañas de *marketing*. Este efecto colapsa los canales de distribución por el supuesto incremento de la demanda, y por lo tanto, se puede decir que el comportamiento de las ventas no refleja el consumo real del mercado. En este escenario los proveedores invierten en mayor capacidad productiva (p.e.: pago de horas extras; compra de mayor cantidad de materia prima; contratación de más unidades de transporte) para tratar de obtener mayores ganancias. Pero cuando el precio de los productos se normaliza, los proveedores se ven orillados a recuperar su inversión en un mayor lapso de tiempo, lo cual incrementa el coste operativo de la CS.

En el caso de la CS que se analiza, se considera que el precio de los componentes se mantiene durante el tiempo del estudio. El coste de gestión de inventario, el coste de pedir y el plazo de entrega de las materias primas de los agentes de la CS se detallan en los apartados 5.3 y 5.4 de este documento.

La cuarta causa del EB tiene como origen el racionamiento del suministro y el “juego de la escasez” (Lee *et al.*, 1997a). Durante la operativa de la CS es probable que un proveedor principal no pueda cumplir con la totalidad de la demanda de sus clientes, por lo que decida racionar el suministro de materia prima sin previo aviso. Esto puede hacer creer a los clientes que habrá escasez de materia prima en un futuro cercano, y por lo tanto, decidan colocar más pedidos a otros proveedores para evitar la rotura de sus *stocks*. De esta forma se genera la volatilidad de la demanda a lo largo de la CS. Los proveedores que reciben los pedidos pueden percibir un súbito aumento de la demanda de sus productos, que puede derivar en un aumento de su capacidad de suministro con nuevas inversiones. Cuando el proveedor principal regulariza el suministro de sus materias primas es probable que los clientes cancelen los pedidos a los proveedores, lo cual puede dificultar que éstos recuperen su inversión. Esta serie de circunstancias son conocidas como “juego de la escasez”.

La forma más efectiva para no entrar al “juego de la escasez” es que los decisores intercambien información actualizada y confiable de sus actividades de suministro, para afinar su percepción sobre la realidad del entorno y tomen decisiones más adecuadas, sobre todo cuando puede haber una genuina escasez de materias primas. Los sistemas informáticos representan la alternativa más confiable para intercambiar datos a lo largo del sistema logístico, sin embargo, su implementación representa una gran inversión en la mayoría de los casos, pero su utilización asegura en gran medida la optimización de la operativa de la red logística.

La información del sistema que se estudia indica que algunos agentes suministran sus componentes con demora en ciertas temporadas del año, lo cual puede ocasionar un incremento de los costes operativos del fabricante, debido a que éste compra más cantidad de componentes de la que necesita (ver apartado 2.4). De aquí que el fabricante principal tenga como meta fortalecer la operativa del suministro para evitar el “juego de la escasez” (ver apartado 2.5). Las políticas de suministro propuestas en este trabajo se diseñan con la información del fabricante y de sus suministradores, con el objetivo de optimizar el nivel de inventario a lo largo de la red logística.

Las medidas para contrarrestar el EB pueden verse fortalecidas con el soporte de equipos de mejora formados por las organizaciones de la CS (Lee *et al.*, 1997a). Estos equipos recogen información a lo largo del sistema que sirve para alinear la operativa de los agentes con la estrategia global de suministro. Esta información también puede ser útil en el diseño de estrategias enfocadas a reducir la amplificación de la demanda en el sistema total.

La información recogida por los equipos de mejora también puede ser aprovechada para diseñar métricas de la operativa del suministro de la red logística. Estos equipos de mejora pueden servir como un medio para transferir nuevos conocimientos sobre cómo reducir el EB en la CS. Esta transferencia de conocimientos puede ser a través del estudio de las actividades logísticas de la organización, el análisis de estrategias enfocadas a reducir el coste de gestión de inventario o la aplicación de técnicas novedosas orientadas a la mejora de los procesos de creación de valor. Por lo tanto, se puede decir que los equipos de mejora pueden ayudar a recoger información útil en optimizar el funcionamiento integral de la CS.

Como se ha visto a lo largo de este apartado, la compartición de la información es un tema central en el diseño de estrategias enfocadas a contrarrestar el EB en la CS. Por lo tanto, es indispensable conocer la forma en que se puede medir el EB para poder cuantificar el beneficio de estas estrategias. Los investigadores han formulado diversas propuestas para medir la amplificación de la demanda en la CS, por ejemplo Taylor (1999) sostiene que el EB se puede medir con la variabilidad de los datos de la demanda y la capacidad operativa de la red logística. La propuesta de Zhang (2004) consiste en medir el EB a través del análisis de la varianza de la demanda y la varianza del número de comandas recibidas por los proveedores.

Warburton (2004) plantea que el EB puede medirse con un índice calculado con el número de comandas del cliente y de los agentes de la red logística. Lee *et al.* (1997b) proponen medir el EB de acuerdo con el nivel de compartición de la información en la CS. Chen *et al.* (2000) proponen medir la amplificación de la demanda bajo los criterios de centralizar o no centralizar la información en la red de suministro. Chatfield *et al.* (2004) sugieren medir el EB por medio de la comparativa del nivel de compartición de la información y el cumplimiento de los plazos de entrega. Dejonckheere *et al.* (2003) proponen medir el EB a través de un índice calculado con la varianza de la cantidad de productos fabricados y la varianza de la cantidad de productos vendidos.

La revisión de la literatura indica que los investigadores proponen diversas maneras de cómo medir la amplificación de la demanda en la CS, pero seguramente la medida más adecuada depende de la disponibilidad de la información del sistema a examinar. En este trabajo se considera que la propuesta de Coppini *et al.* (2010) es la más adecuada para calcular la intensidad del EB en la CS que se estudia, de acuerdo con la información recolectada del sistema del mundo real.

Coppini *et al.* (2010) sostienen que el EB se puede medir con la información de la posición de los agentes en la estructura de la CS y la varianza del nivel de su inventario. La fórmula 5.1 propuesta por estos autores calcula la intensidad del EB en oscilaciones de inventario.

Para la CS de este estudio se utiliza la varianza del inventario del fabricante principal y la varianza del inventario de los agentes de la red de suministro. El cálculo de la varianza del inventario de los agentes de la CS es parte de los resultados arrojados por la simulación (ver anexo D).

$$OI_i = \frac{V_{inv.agente_i}}{V_{inv.fabricante}} \quad \text{Fórmula 3.1}$$

Donde:

OI_i = oscilaciones de inventario en el nivel i de la CS.

$V_{inv. agente_i}$ = varianza del nivel de inventario del agente del nivel i .

$V_{inv. fabricante}$ = varianza del nivel de inventario del fabricante.

Finalmente, se puede decir que el EB impacta con bastante fuerza la operativa integral de los sistemas logísticos. Para los decisores de la CS es conveniente diseñar estrategias enfocadas a contrarrestar el EB, cuya efectividad se puede comprobar con la medición de la mejora del rendimiento de la CS. Dada su importancia en la GCS, en el siguiente apartado se discuten los aspectos más relevantes sobre la medición del rendimiento de la CS.

3.5. Medición del rendimiento de la Cadena de Suministro.

La medición del rendimiento de la Cadena de Suministro (CS) es uno de los temas más desafiantes para los estudiosos de los sistemas logísticos. En la revisión de la literatura se percibe la intención de los estudiosos de desarrollar un sistema de medición de aplicación general para la CS. Sin embargo, parece ser que aún falta mucho camino por recorrer, debido a la complejidad que posee este tipo de sistema organizativo.

Los investigadores Neely *et al.* (1995) afirman que el objetivo primordial de los sistemas de medición es determinar la eficiencia operativa de la organización y cuantificar el uso de los recursos enfocados a satisfacer las necesidades del cliente. Kennerley & Neely (2003) y Neely *et al.* (2005) sostienen que la medición del rendimiento integral de la CS es el primer paso para potenciar la creación de valor en el sistema. Por lo tanto, es fundamental la medición precisa del rendimiento de la CS para poder determinar el grado de aportación de los agentes en la creación de valor.

Kaplan & Norton (1996) afirman que los directivos se interesan más en medir el rendimiento financiero de sus empresas que en calcular su rendimiento operativo. Esta disparidad de criterios dificulta el diseño de un sistema de medición integral que incorpore métricas financieras y operativas. Gunasekaran *et al.* (2001) sostienen que la diversidad de métricas asociadas al rendimiento de la CS complica el proceso de construcción de un sistema integral de medición, debido a que surgen discrepancias sobre cómo mesurar los aspectos operativos y financieros de la organización.

Beamon (1999) afirma que el limitado desarrollo de los sistemas de medición de la CS se debe a la falta de interés de los directivos en mesurar los procesos de creación de valor. Esto se traduce en programas de capacitación poco ambiciosos en el diseño de métricas o en la escasez de incentivos para medir el rendimiento de la red logística. El hecho es que los directivos no destinan recursos para desarrollar sistemas de medición del rendimiento de su CS. Esta situación se agrava por limitantes organizativas, como es la diversidad cultural del personal o la localización geográfica de los agentes de la CS alrededor del planeta.

El desarrollo de los sistemas de medición de la CS y las dificultades de su implementación han sido analizadas en diversas investigaciones. Por ejemplo, los autores Bigliardi & Bottani (2010), Ou *et al.* (2010) y Zwolinski (2011) examinan la efectividad de los sistemas de medición de acuerdo con su contribución en potenciar la creación de valor en la CS. Chen & Paulraj (2004) proponen que la medición del rendimiento de la CS abarque los niveles estratégico, táctico y operativo de la organización. La medición de estos niveles de la CS debe ser con métricas financieras y operativas. Las métricas financieras se enfocan a calcular indicadores económicos, por ejemplo: el volumen de ventas o la rentabilidad del negocio. Las métricas operativas calculan la eficiencia de las actividades de creación de valor, por ejemplo, la medida de la satisfacción del cliente en aspectos tales como: el número de productos rechazados o el cumplimiento de las entregas. Por lo tanto, la medición integral de la CS con métricas financieras y operativas tiene como meta que los directivos dispongan de información confiable de los procesos de su organización.

Shepherd & Gunter (2006) sugieren que el modelo *Supply Chain Operations Reference* (SCOR) ayuda a mesurar los procesos de creación de valor de la CS (planificación, suministro, fabricación, entrega y retorno). Los procesos del modelo SCOR se describen en la tabla 3.2. Estos investigadores recolectan una numerosa cantidad de métricas de diversas investigaciones, para abordar en su trabajo lo difícil que resulta asignar medidas cuantitativas y cualitativas a los procesos del modelo SCOR.

Proceso	Definición
Planificación	Proceso que define el curso de acción de los procesos relacionados al suministro, fabricación, entrega y retorno de bienes para cumplir la demanda del cliente.
Suministro	Proceso orientado a la compra de bienes o servicios útiles en cumplir con la demanda del cliente.
Fabricación	Proceso que transforma las materias primas a productos terminados.
Entrega	Proceso encargado de la entrega de productos al cliente, el cual incluye la gestión de los pedidos, gestión del transporte y gestión de la distribución.
Retorno	Proceso destinado a recibir los productos devueltos por los clientes, el cual incorpora las actividades de servicio post-venta y soporte al cliente.

Tabla 3.2. Procesos del modelo SCOR.

Las medidas recolectadas por Shepherd & Gunter (2006) se enfocan a determinar el valor de los parámetros de coste, tiempo, calidad, flexibilidad e innovación en la operativa de la CS. Estos autores afirman que la medición del rendimiento de la CS se vuelve más compleja debido a la diversidad de las medidas, por lo que es posible que esta situación cause confusión a los decisores del sistema.

Los resultados del estudio indican que los decisores hacen un mayor uso de métricas de coste operativo (un 42%), seguidas por las métricas de medición de la calidad (un 28%). En menor proporción se encuentran las medidas de eficiencia operativa con respecto al tiempo (un 19%) y las métricas de flexibilidad operativa de la organización (un 10%). Por último, las métricas menos utilizadas son las relacionadas a la innovación y el uso de nuevas tecnologías (un 1%).

En la revisión de la literatura relacionada a la medición del rendimiento de la CS destaca la posición de algunos autores sobre las deficiencias de los sistemas de medición. Para Gavirneni *et al.* (1999) existen numerosas actividades de la organización que tienen un significado ambiguo, lo que lleva a un equivocado diseño de las métricas o a la mala interpretación de los resultados. Por ejemplo, la compartición de información puede entenderse como los datos de los artículos agotados que el minorista transmite al suministrador. Pero también, la compartición de información puede interpretarse como los datos de las existencias que el minorista pone a disposición del suministrador. Para Taylor (2000) las métricas de medición del rendimiento de los sistemas logísticos son incompatibles en su mayoría, y en consecuencia, los resultados son poco confiables.

Por último, se puede decir que la operativa integral de la CS y la medición global de su rendimiento son dos competencias atribuibles a la GCS. Por lo tanto, es conveniente que el enfoque estratégico de la GCS incorpore un sistema de medición preciso en medir los procesos de creación de valor, debido a que es el instrumento fundamental para poder comprobar la efectividad de las estrategias enfocadas a optimizar el rendimiento de la CS.

3.6. Conclusiones.

El contenido de este capítulo es provechoso para elaborar el análisis de la Cadena de Suministro (CS) que se estudia, especialmente en aspectos relacionados a su estructura estática y dinámica. La revisión de la aportación de los estudiosos también sirve para reflexionar sobre la forma de gestionar los procesos de negocio asociados a la gestión integral de la CS. La lectura de los distintos enfoques de Gestión de la Cadena de Suministro (GCS) es de utilidad para poder diseñar la estrategia de suministro orientada a mejorar la operativa del sistema logístico bajo estudio.

La discusión sobre las aportaciones científicas acerca de la amplificación de la demanda ayuda a visualizar el impacto de este fenómeno organizativo en la operativa de la CS. El enfoque de sistemas es útil en este capítulo para poder comprender las causas y los efectos de la amplificación de la demanda en la red logística que se analiza. Pero también, el enfoque de sistemas ayuda a conjeturar sobre el diseño de la estrategia que contrarreste la amplificación de la demanda en la CS que se estudia. En este mismo capítulo se discutieron las propuestas de los autores para medir la amplificación de la demanda en la CS, entre las cuales se descubrió la forma más adecuada para medir este fenómeno en el sistema objeto de estudio.

La medición del rendimiento de la CS es uno de los temas de mayor complejidad de este capítulo, debido a los cuestionamientos que existen sobre la efectividad de los sistemas de medición diseñados en la actualidad. Esta situación se recrudece con el surgimiento de una innumerable cantidad de métricas que puede confundir a los decisores, y por lo tanto, es posible que vean con dificultad las mejores maneras de crear valor en la CS. Sin embargo, las aportaciones científicas de los investigadores clarifican el camino hacia la construcción de sistemas de medición de la CS cada vez más precisos.

Finalmente, se puede afirmar que la literatura revisada en este capítulo ayuda a comprender el funcionamiento del sistema del mundo real que se estudia en esta tesis. La comprensión de la operativa de la CS es de utilidad para poder trasladar la dinámica del sistema al modelo de simulación. La construcción y puesta a punto del modelo de simulación es el tema que se describe en el siguiente capítulo.

Capítulo 4.

Modelo de simulación.

4.1. Introducción.

En este capítulo se describe el proceso de modelado de la Cadena de Suministro (CS) de este estudio, de acuerdo con los temas que contiene la figura 4.1. La información de la estructura estática y la estructura dinámica sirve para visualizar la CS, lo cual se aprovecha para diseñar el modelo de simulación. La construcción del modelo consiste en codificar las instrucciones informáticas para representar las estructuras de la CS y reproducir el comportamiento del sistema conforme a la lógica de su funcionamiento. Una vez concluida esta parte del trabajo, el paso siguiente es verificar y validar el funcionamiento del modelo de simulación.

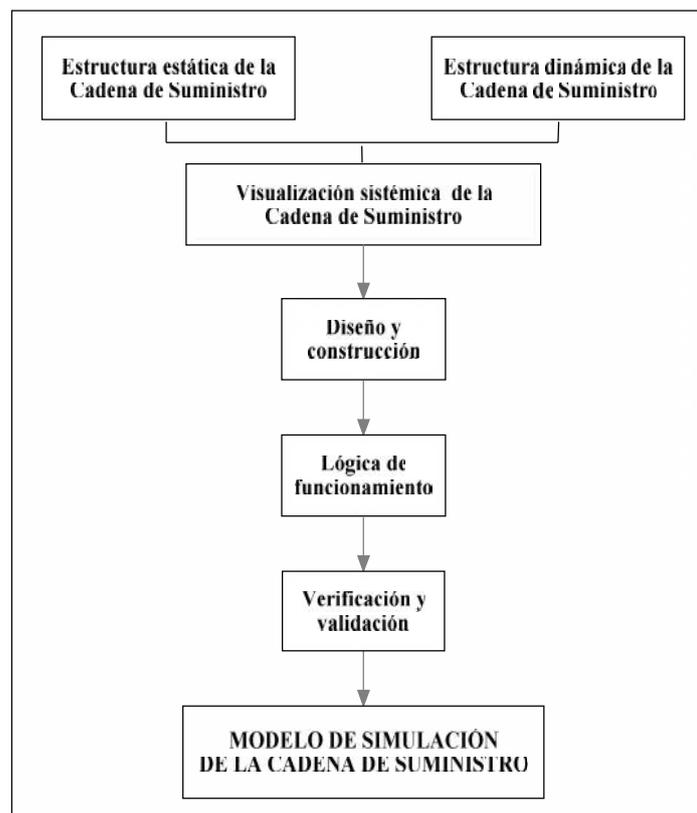


Figura 4.1. Proceso de modelado de la CS bajo estudio (capítulo 4).

El proceso de verificación y validación consiste en la aplicación de una serie de pruebas enfocadas a comprobar el correcto funcionamiento del modelo de simulación. El objetivo de la verificación y validación es garantizar que los resultados arrojados por el modelo sean consistentes con la información de la dinámica del sistema del mundo real. El proceso de modelado de la CS se realiza de forma minuciosa en este estudio, con la meta de que el diseño y la conducción del experimento de esta tesis se desarrollen de forma exitosa.

4.2. Visualización sistémica de la Cadena de Suministro.

El análisis de la información de la Cadena de Suministro (CS) ayuda a visualizar que el sistema objeto de estudio es una red logística de 3 niveles que suministra a un fabricante principal. Este fabricante elabora 3 tipos de productos para satisfacer la demanda de 3 clientes que destacan por su alto volumen de compra. El análisis de la información del sistema indica que la estructura total de la red logística se integra por 3 subredes de suministro, que se pueden identificar como subred 1, subred 2 y subred 3, cuyo suministro corresponde a los componentes para fabricar los productos 1, 2 y 3. También, con el análisis de la información se conoce que los agentes de la CS se encuentran integrados por 3 flujos: 1) el flujo de información que incorpora los pedidos que recorren la CS y las políticas de suministro de los agentes de la red logística; 2) el flujo de componentes que representa el recorrido de los materiales a través del sistema logístico y los productos entregados al cliente, y por último, 3) el flujo financiero que integra el coste de gestión de inventario de los agentes de la CS. Por lo tanto, el análisis de la información permite identificar dos bloques de elementos fundamentales que constituyen la CS:

- La estructura estática de la Cadena de Suministro.
- La estructura dinámica de la Cadena de Suministro.

La figura 4.2 es una visualización sistémica de las estructuras estática y dinámica de la CS, la cual es una primera referencia para construir el modelo de simulación de este estudio. Enseguida se describen las fases de diseño y construcción del modelo de simulación.

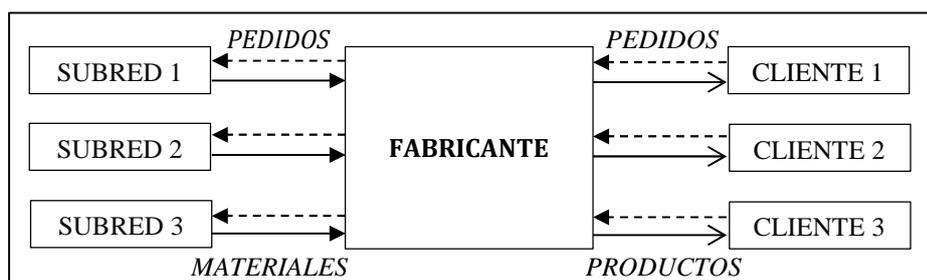


Figura 4.2. Visualización sistémica de la CS bajo estudio.

4.3. Diseño y construcción del modelo.

El diseño del modelo de simulación tiene como meta replicar el comportamiento de la Cadena de Suministro (CS) lo más cercano a la realidad. Para alcanzar esta meta se deben lograr dos objetivos fundamentales: representar la totalidad de la estructura estática y reproducir el funcionamiento de la estructura dinámica. En este contexto juega un papel importante la capacidad del *software* a utilizar en el modelado de la CS del mundo real. Por esta razón se realizaron algunas pruebas de construcción del sistema bajo estudio con los siguientes paquetes de simulación: GPSS/H® de *Wolverine Software Corp.*, Simnet® de *Simtec Inc.* y Promodel® de *Promodel Corp.* De esta terna se elige el *software* Promodel® debido a que se caracteriza por confeccionar modelos de alta complejidad con un enfoque orientado a objetos, lo cual favorece el uso de sus aplicaciones de forma intuitiva.

Una vez elegido el *software*, la construcción del modelo inicia con la codificación de su estructura estática por medio de los iconos de la utilería de Promodel®. Esta estructura se integra de los siguientes agentes:

- 1 fabricante principal.
- 3 clientes.
- 29 suministradores.

Las utilidades de Promodel® son muy provechosas para construir la estructura estática de la CS, debido al uso de códigos para simular actividades logísticas complejas. El *software* dispone de un grupo de elementos, o iconos, útiles en representar a los agentes de la CS (*locations*) y las rutas (*path networks*) que sirven para interconectar a los agentes, lo cual ayuda a definir la relación cliente-proveedor en la estructura estática del sistema logístico. La estructura estática incorpora los 33 agentes del sistema y es la base para la construcción de la estructura dinámica de la CS.

El diseño de la estructura dinámica del modelo tiene por objeto codificar los siguientes elementos:

- La operativa de los agentes de la CS.

El modelo de simulación replica la llegada de los pedidos de los clientes al fabricante, los cuales procesa bajo la política de atención FIFO (*First In-First Out*). Como se analiza en la información del sistema, el orden de llegada de los pedidos es una de las referencias primordiales del fabricante para planificar sus actividades de producción (ver apartado 2.2).

La estructura dinámica del modelo se construye por medio de la codificación de instrucciones que replican la operativa de los agentes y representan los escenarios en los que opera la CS. La estructura dinámica incluye también la codificación de las medidas de rendimiento del sistema total (ver apartado 5.2). La codificación de la estructura dinámica del modelo se orienta a replicar el comportamiento de la CS en escenarios con Políticas de Suministro

Vigentes (PSV), para poder disponer de resultados asociados al estado actual del funcionamiento del sistema (ver apartado 5.3).

Los resultados de la simulación de la CS con PSV son de utilidad para poder diseñar las Políticas de Suministro Nuevas (PSN) que integran la estrategia global de suministro propuesta en esta tesis (ver apartado 5.4). La codificación de la estructura dinámica tiene la capacidad de replicar el modelo de la CS en escenarios con PSN, lo cual sirve para calcular el impacto de la estrategia global de suministro en el rendimiento del sistema (ver apartado 5.5).

- La demanda de los clientes.

La información de la demanda corresponde a tres de clientes que destacan por el alto volumen de sus compras y el estándar de calidad que exigen al fabricante (ver anexo A). La información de la demanda corresponde al periodo de un año. El fabricante prevé que las ventas tendrán un incremento anual de alrededor de un 13% a tres años vista, lo cual se verá reflejado en el aumento del tamaño de los pedidos de sus clientes. La estructura dinámica replica la colocación de los pedidos de los clientes durante un año, lo cual se representa en los escenarios de experimentación del estudio (ver apartado 5.2).

- El flujo de información de la CS.

El flujo de información de la CS incorpora las comandas que colocan los agentes y las políticas de suministro del sistema logístico. La estructura dinámica emula el recorrido de las comandas, el cual inicia con la colocación de los pedidos de los clientes al fabricante, quien a su vez, coloca pedidos de componentes a sus proveedores del nivel 1, y éstos a los proveedores del nivel 2 de la red de suministro. De igual forma, se simula la colocación de comandas de los agentes del nivel 2 a los agentes del nivel 3. Por lo tanto, las comandas de los agentes recorren el sistema de forma secuencial, lo cual se simula en el modelo de la CS. La estructura dinámica dispone de códigos para implementar los parámetros de gestión de las PSV y las PSN en el modelo de la CS (ver tablas 5.2, 5.4, 5.6, 5.12, 5.13 y 5.14).

- El flujo de componentes de la CS.

La información del sistema indica que el flujo de componentes de la CS recorre los tres niveles de la red de suministro hasta llegar al fabricante, quien lo transforma en productos para ser entregados a sus clientes. El suministro entre los agentes tiene un recorrido específico en la estructura estática de la CS, el cual se puede identificar con la operativa de las subredes que integran el sistema total (ver apartado 2.4). La visualización sistémica de la CS ayuda a conocer que las PSV y las PSN regulan el flujo de materiales en el sistema de acuerdo con el plazo de entrega y la cantidad de unidades de componente suministrada entre los agentes.

La estructura dinámica del modelo de la CS calcula las existencias del fabricante y de los 29 suministradores de la red logística, y calcula también, los niveles de inventario medio y máximo de los agentes del sistema total (ver apartados 6.2 y 6.3). Esta información es de utilidad para calcular la intensidad de la amplificación de la demanda en diversos puntos de la CS (ver apartado 6.4). La estructura dinámica dispone de variables que sirven para calcular la volatilidad de la demanda (ver apartado 6.5) y medir el plazo de entrega de la CS (ver apartado 6.6).

- El flujo financiero de la CS.

La estructura dinámica incluye variables que calculan el coste de gestión de inventario del fabricante y de los suministradores escogidos para este estudio (ver apartado 2.4). Los resultados que se obtienen de la simulación corresponden al comportamiento de la CS en escenarios con PSV y con PSN. Estos resultados sirven para determinar el coste de gestión de inventario del sistema bajo estos dos tipos de políticas de suministro (ver apartado 6.7).

La construcción de la estructura dinámica del modelo de la CS inicia con el uso de instrucciones básicas de Promodel®, las cuales replican la ocurrencia de eventos aleatorios del funcionamiento del sistema logístico, tales como: representar la llegada de las comandas al fabricante (*arrivals*); asignar la colocación de los pedidos a los agentes del sistema de acuerdo al tipo de componente (*send*); simular el flujo de componentes y de productos en la red logística (*entities*); representar el plazo de entrega de los componentes en el sistema (*processing*); resumistrar de componentes a los agentes de la CS (*route*).

En la etapa final de la construcción del modelo se utilizan instrucciones avanzadas del *software* para poder replicar situaciones complejas del sistema, entre las cuales se encuentran: identificar los componentes de cada tipo de producto (*attributes*); calcular el nivel de inventario de los agentes del sistema (*variables*); condicionar la colocación de comandas (*if-then-else*) y definir el tamaño del lote de suministro (*group*).

En la parte final de construcción del modelo se utilizan también las funciones de probabilidad (*functions*) del *software* para representar: el comportamiento de la demanda, la demora en el suministro y la percepción de los agentes sobre la intensidad de su demanda. Finalmente, en la construcción de la estructura dinámica se emplean instrucciones para calcular el coste de gestión de inventario (*costing*) e introducir datos al modelo desde archivos externos (*external files*).

El modelo de simulación incorpora las tres subredes de suministro del sistema total. Por lo tanto, la ejecución del modelo arroja resultados asociados a cada una de ellas. Cabe mencionar que durante la construcción del modelo se utiliza la capacidad de animación de Promodel®, con el objeto de

reproducir visualmente el comportamiento del sistema para verificar, paso a paso, el proceso de modelado de la CS del mundo real.

4.4. Lógica de funcionamiento.

La lógica de funcionamiento del modelo se basa en cuatro etapas que trabajan de forma coordinada para replicar la dinámica del sistema bajo estudio. Enseguida se explican estas etapas de acuerdo con la figura 4.3.

El modelo inicia su operativa en la etapa A, en la cual se replica la colocación de los pedidos de los clientes al fabricante. El fabricante procesa los pedidos de acuerdo con la política de atención FIFO para poder planificar la producción de sus artículos. Si el fabricante dispone de suficiente cantidad de existencias para cumplir con los pedidos que recibe (en relación al tipo de producto y el tamaño del pedido del cliente), entonces procede a la fabricación de los productos. Si el fabricante no dispone de la cantidad suficiente de existencias, colocará comandas a sus proveedores del nivel 1 para resumministrarse.

La etapa B de la lógica del modelo comienza con la colocación de comandas del fabricante a los agentes del nivel 1. Una vez recibidas las comandas por los proveedores del nivel 1, éstos verifican si disponen de las existencias suficientes para suministrar al fabricante. Si cuentan con la cantidad adecuada de inventario, proceden a suministrar al fabricante. En caso contrario, los agentes del nivel 1 deben colocar sus comandas a los proveedores del nivel 2 para resumministrarse de componentes.

La etapa C de la lógica del modelo inicia con la colocación de comandas de los agentes del nivel 1 a los agentes del nivel 2 para ser resumministrados. Si los agentes del nivel 2 cuentan con existencias suficientes, proceden al suministro de los agentes del nivel 1. En caso de que los agentes del nivel 2 no dispongan de las existencias suficientes, éstos deben colocar sus pedidos a los agentes del nivel 3 para resumministrarse.

La etapa D comienza con la colocación de las comandas de los agentes del nivel 2 a los agentes del nivel 3. Si los agentes del nivel 3 disponen de existencias suficientes, suministrarán a los agentes del nivel 2. En caso contrario, los agentes del nivel 3 tendrán que esperar a contar con las existencias suficientes para cumplir con los pedidos de los agentes del nivel 2.

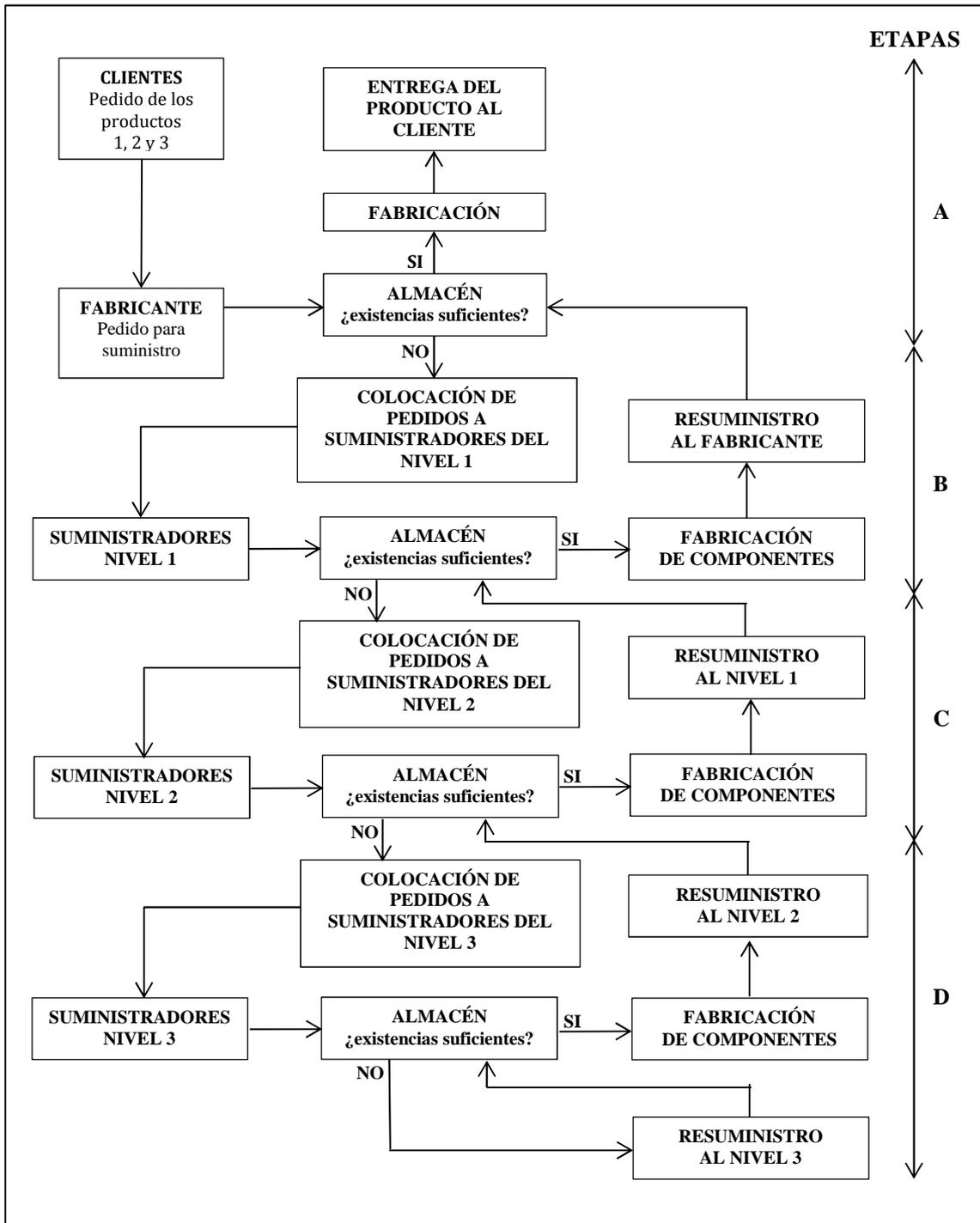


Figura 4.3. Lógica de funcionamiento del modelo de simulación.

La lógica del modelo incluye la codificación de instrucciones que replican la dinámica del sistema en aspectos como tales como: las demoras en el suministro de componentes; la percepción de los decisores sobre la intensidad de su demanda y la posible escasez de componentes en la red logística. Durante la fase de construcción del modelo se realizan diversas pruebas que sirven para comprobar su buen funcionamiento. Sin embargo, el modelo de simulación se sujeta a pruebas más exigentes que aseguran la obtención de resultados confiables en el análisis del sistema. Estas pruebas corresponden a los procesos de verificación y validación del modelo de simulación. Una vez que el modelo supera estas pruebas, se puede realizar el diseño y la conducción de los experimentos del estudio.

4.5. Verificación y validación.

Los procesos de verificación y validación buscan asegurar que el modelo de simulación arroje resultados consistentes con la información del sistema que se estudia. Estos procesos se conducen bajo las sugerencias de Sargent (1997), Law (2006) y Banks *et al.* (2009).

El proceso de verificación tiene como meta comprobar la correcta ejecución de las instrucciones informáticas del modelo, para de evitar errores de codificación que generen contratiempos durante la conducción del experimento de la investigación. El proceso de verificación representa una de las etapas más exigentes del estudio, debido a que examina la combinación de instrucciones básicas y avanzadas del *software* de forma detallada. El proceso de verificación se realiza con la utilidad *debugger* de Promodel® para comprobar paso a paso el funcionamiento del modelo. El *debugger* ayuda también a observar la recogida de estadísticos de interés del estudio en lapsos de tiempo definidos por el analista. Este conjunto actividades se conoce como *walkthrough*.

Una vez que el modelo supera el proceso de verificación se procede a evaluar su funcionamiento por medio de un análisis de sensibilidad. El objetivo de este análisis es poner a prueba al modelo en condiciones extremas de simulación, para comprobar la consistencia de su operativa con respecto a los resultados que arroja. En el análisis de sensibilidad se modifica el valor de los parámetros de la estructura dinámica del modelo, entre los cuales se encuentran: variar el tamaño de los pedidos de los agentes; alterar el plazo de entrega de los componentes; diversificar el flujo de componentes en la red de suministro; discontinuar el suministro en diversos puntos del sistema; variar el nivel de inventario a lo largo de la red logística; modificar la capacidad de suministro de los agentes; cambiar el coste operativo de los agentes. El análisis de sensibilidad del modelo en diversos escenarios de prueba se revisa por medio de un *walkthrough*. La contrastación de los resultados de la verificación indica que el modelo funciona de forma satisfactoria, por lo tanto, el paso siguiente corresponde a su validación.

El proceso de validación consiste en comparar los resultados del modelo con los datos del sistema, con el objetivo de comprobar si el modelo replica el comportamiento de la CS. El modelo del estudio se replica 200 veces, cuyos resultados se contrastan con la información del sistema relacionada a: la cantidad de comandas que colocan los clientes al fabricante; el número de pedidos del fabricante colocados a sus suministradores; la cantidad de componentes suministrados por los proveedores; la cantidad de artículos producidos por el fabricante; el cumplimiento de los plazos de entrega; el nivel de inventario de los agentes de la CS; el coste de gestión de los agentes del sistema. Finalmente, con el proceso de validación se comprueba que el modelo arroja resultados consistentes con la información del sistema objeto de estudio.

4.6. Conclusiones.

El modelo de simulación de la Cadena de Suministro (CS) del mundo real es posiblemente uno de los aportes más relevantes de esta tesis. La construcción del modelo es una de las etapas de esta investigación a la que se presta una mayor dedicación, en la que inicialmente se emplea el enfoque de sistemas como herramienta para concebir la estrategia de modelado del sistema que se estudia. El enfoque de sistemas también es de utilidad durante la construcción del modelo, debido que se emplea para poder discernir sobre la mejor manera de codificar las instrucciones del *software* enfocadas a representar la dinámica de la CS.

La conceptualización de las estructuras estática y dinámica de la CS desde una perspectiva sistémica es una de las partes fundamentales en la construcción del modelo. La comprensión sobre la interacción de estas estructuras da como resultado la lógica operativa del sistema, la cual se explica en este capítulo. En las etapas iniciales de la construcción del modelo se utilizan instrucciones básicas del *software* para codificar las estructuras estática y dinámica. Conforme se logran progresos en la construcción del modelo se emplean instrucciones avanzadas del *software*, para poder emular situaciones complejas de la operativa de la CS. Con la combinación de las instrucciones básicas y avanzadas del *software* se pudo concluir completamente el modelado del sistema bajo estudio.

Una vez construido el modelo se comprueba su funcionamiento con los procesos de verificación y validación planteados en esta tesis, los cuales se caracterizan por su nivel de exigencia. Los procesos de verificación y validación sirven para detectar errores de codificación de las instrucciones del modelo, y también, auxilian en identificar errores asociados a su lógica operativa. El resultado final de estos procesos indica que el modelo de simulación replica la dinámica de la CS del mundo real que se analiza. Por lo tanto, se puede proceder a la realización del diseño y conducción del experimento, que es el tema del siguiente capítulo.

Capítulo 5.

Diseño y conducción del experimento.

5.1. Introducción.

El diseño y conducción del experimento de esta tesis se desarrolla de acuerdo con las fases que se presentan en la figura 5.1. En la fase de diseño se definen los escenarios de simulación de la Cadena de Suministro (CS) con Políticas de Suministro Vigentes (PSV) y con Políticas de Suministro Nuevas (PSN). También, en esta misma fase se establecen las métricas del rendimiento de la CS. En la fase de conducción del experimento se simula la CS en escenarios con PSV para obtener resultados de su comportamiento actual. Estos resultados se utilizan en el diseño de las PSN que integran la estrategia global de suministro enfocada a mejorar el rendimiento del sistema. La siguiente fase es simular la CS con PSN para conocer su comportamiento con la estrategia propuesta. Finalmente, se reúnen los resultados de la simulación de la CS con PSV y con PSN para completar los resultados del estudio.

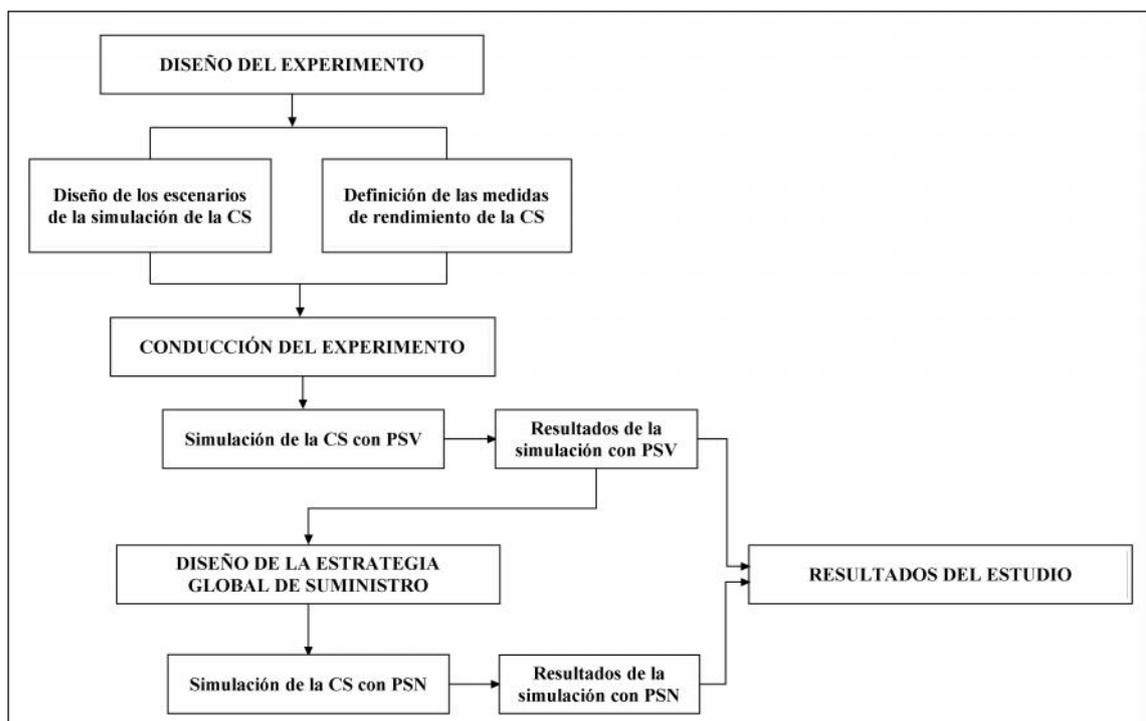


Figura 5.1. Diseño y conducción del experimento (capítulo 5).

5.2. Diseño del experimento.

5.2.1. Escenarios de simulación de la Cadena de Suministro.

El diseño de los escenarios de simulación de la Cadena de Suministro (CS) tiene dos referencias principales: las ventas actuales del fabricante y el comportamiento de la demanda en un horizonte de tres años (ver apartado 2.2). Por lo tanto, se define un escenario 0 para representar el entorno actual de la CS y se definen los escenarios 1, 2 y 3 para caracterizar los entornos de la CS a tres años vista, de acuerdo con la previsión del fabricante. El diseño del experimento se dirige a simular cuatro escenarios de la CS con Políticas de Suministro Vigentes (PSV) y con Políticas de Suministro Nuevas (PSN) como se puede ver en la tabla 5.1.

El análisis de la información del sistema del mundo real (ver capítulo 2) ayuda a identificar los siguientes elementos que caracterizan los escenarios del estudio, los cuales se integran al modelo de simulación (ver apartado 4.3):

- Días de operación del sistema. El sistema opera 224 días al año con jornadas de 8 horas diarias.
- Demanda de los clientes. En el modelo se replica la demanda de los clientes (ver anexo A).
- Inventario inicial. Los agentes de la CS cuentan con niveles de inventario iniciales para alcanzar rápidamente el estado estable de la simulación.
- Plazos de entrega. El modelo de simulación incorpora los plazos de entrega definidos por los agentes de la CS.
- Coste de pedir y coste de mantener. El coste de pedir se refiere a la cantidad de dinero destinada al lanzamiento de un pedido por los agentes de la CS. El coste de mantener se asocia a la cantidad de dinero que cuesta almacenar un componente en las instalaciones de los agentes del sistema.

Políticas de suministro	Escenarios			
	0	1	2	3
Políticas de Suministro Vigentes (PSV)	PSV-0	PSV-1	PSV-2	PSV-3
Políticas de Suministro Nuevas (PSN)	PSN-0	PSN-1	PSN-2	PSN-3

Tabla 5.1. Escenarios del experimento.

5.2.2. Medidas de rendimiento de la Cadena de Suministro.

Las métricas de rendimiento calculan el valor de los parámetros de interés de la CS en una réplica de la simulación, que equivale a un año. Estas métricas son las siguientes:

- Nivel de inventario de los agentes de la CS.
 - Existencias anuales: Es la cantidad total de unidades de componente que un agente compra en un año.
 - Inventario medio: Es la cantidad media de unidades de componente que un agente almacena en sus instalaciones en un año.
 - Inventario máximo: Es la cantidad más elevada de unidades de componente que un agente almacena en sus instalaciones en un año.
- Medición del Efecto *Bullwhip* en la red de suministro.
 - Se trata de las oscilaciones de inventario de un agente en un año (ver apartado 3.4).
- Número de pedidos en la CS.
 - Se trata de las veces que un agente coloca pedidos a su proveedor en un año porque ha alcanzado el punto de reorden.
- Plazo medio de entrega en la red logística.
 - Se define como el tiempo medio desde que un agente detecta la necesidad de lanzar un pedido hasta que éste es recibido por dicho agente.
- Coste de gestión de inventario de los agentes de la CS.
 - Se relaciona con el coste de emisión de los pedidos y el almacenamiento de unidades de un componente de un agente durante un año.

En el presente estudio se realizan numerosas réplicas del modelo para una política y escenario, para que finalmente el *software* calcule el valor medio de las métricas antes descritas.

5.3. Conducción del experimento con Políticas de Suministro Vigentes (PSV).

5.3.1. Simulación piloto de la subred 1 con PSV.

La información de las existencias anuales del fabricante (componentes P1C3, P1C4 y P1C7) y de los agentes 3A, 4A, 7A y 1B se encuentra en la tabla 5.2, en donde se indica también el coste de pedir un lote de componentes, el coste anual de mantener una unidad de componente en el almacén y el plazo de entrega (PE) del suministro. Estos datos se utilizan en el modelo *Economic Order Quantity* (EOQ) propuesto por Harris (1913) (fórmula 5.1), el cual sirve para definir los parámetros de gestión de las Políticas de Suministro Vigentes (PSV).

La fórmula 5.1 ayuda a calcular el tamaño del lote (TL) que suministran los agentes; la fórmula 5.2 determina el punto de reorden (PR) y la fórmula 5.3 calcula el número de pedidos (NP) de las PSV.

$$EOQ = \frac{\sqrt{2DC_p}}{C_m} \quad \text{Fórmula 5.1}$$

Donde:

EOQ = *Economic Quantity Order*.

D = Demanda anual.

C_p = Coste de pedir.

C_m = Coste de mantener.

$$PR = dP_e \quad \text{Fórmula 5.2}$$

Donde:

PR = Punto de reorden.

d = Demanda diaria.

P_e = Plazo de entrega

$$NP = \frac{D}{EOQ} \quad \text{Fórmula 5.3}$$

Donde:

NP = Número de pedidos.

D = Demanda anual.

EOQ = *Economic Quantity Order*.

La tabla 5.2 contiene los parámetros de gestión de las PSV de la subred 1 calculados con las fórmulas 5.1, 5.2 y 5.3.

E	Agente	Componente	Existencias anuales	Coste(€)		PE	EOQ		
				pedir	mantener		TL	PR	NP
0	Fabricante	P1C3	208.142	95	8	2	2.223	1.749	94
		P1C4	216.852	90	7	2	2.361	1.822	92
		P1C7	199.356	95	9	2	2.051	1.675	97
	3A	3A	221.096	85	5	2	2.742	1.858	81
	4A	4A	220.239	80	4	2	2.968	1.851	74
	7A	7A	212.383	80	6	2	2.380	1.785	89
	1B	1B	222.859	70	4	2	2.793	1.873	80
1	Fabricante	P1C3	235.271	95	8	2	2.364	1.977	100
		P1C4	228.990	85	5	2	2.790	1.924	82
		P1C7	230.809	90	7	2	2.436	1.940	95
	3A	3A	247.473	80	4	2	3.146	2.080	79
	4A	4A	240.771	95	9	2	2.255	2.023	107
	7A	7A	241.332	80	6	2	2.537	2.028	95
	1B	1B	248.600	70	4	2	2.950	2.089	84
2	Fabricante	P1C3	260.238	95	8	2	2.486	2.187	105
		P1C4	258.327	85	5	2	2.964	2.171	87
		P1C7	264.677	90	7	2	2.609	2.224	101
	3A	3A	270.686	80	4	2	3.291	2.275	82
	4A	4A	276.205	95	9	2	2.415	2.321	114
	7A	7A	275.555	80	6	2	2.711	2.316	102
	1B	1B	285.357	70	4	2	3.160	2.398	90
3	Fabricante	P1C3	317.848	95	8	2	2.748	2.671	116
		P1C4	316.875	85	5	2	3.282	2.663	97
		P1C7	313.153	90	7	2	2.838	2.632	110
	3A	3A	330.468	80	4	2	3.636	2.777	91
	4A	4A	332.257	95	9	2	2.648	2.792	125
	7A	7A	320.976	80	6	2	2.926	2.697	110
	1B	1B	339.634	70	4	2	3.448	2.854	99

E: escenario; PE: plazo de entrega; TL: tamaño de lote; PR: punto de reorden; NP: número de pedidos.

Tabla 5.2. Parámetros de gestión para las PSV de la subred 1.

El modelo con PSV se replica 20 veces (n) a nivel piloto para obtener resultados que sirven para calcular las réplicas del modelo (R^*) con la fórmula propuesta por Harrell (2011) (ver fórmula 5.4):

$$R^* \beta = \min n; \text{int}(N): t_{n-1, 1-\alpha/2} \frac{s^2 n}{N} \leq \beta \quad \text{Fórmula 5.4}$$

Donde:

- R^* = número de réplicas necesarias del modelo.
- = tolerancia de error de la variable número de réplicas.
- n = número de réplicas en la ejecución piloto.
- N = número (entero) de réplicas necesarias según la tolerancia de error.
- t = valor de la tabla t_{student} o $N(0;1)$.
- = nivel de error máximo admitido.
- $s^2(n)$ = varianza de las observaciones de la ejecución piloto.

El múltiplo de venta de componentes más elevado es de 1.000 unidades, según la información de los proveedores (ver apartados 2.4.1, 2.4.2, 2.4.3). Si se considera que esta cantidad de unidades es la tolerancia de error del nivel de inventario por mes y la simulación abarca un año, entonces =12.000 unidades, lo que representa la tolerancia de las existencias anuales de cada agente del sistema logístico. Para el cálculo de R^* se tiene un nivel de significancia de un 10% () y un error de observación de 12.000 unidades (). Por ejemplo, se toma el caso del fabricante (componente P1C3) para calcular R^* , donde $s = 89.451$ unidades para el escenario 0 (ver tabla 5.3). El valor de s junto con el número de réplicas piloto ($n = 20$) y el valor 1,729 encontrado en la tabla t_{student} para 19 grados de libertad con un intervalo de confianza del 90%, se sustituyen en la fórmula 5.4 quedando como sigue:

$$R^* 12.000 = \min 20; \text{int}(N): t_{19,0,95} \frac{89.451^2}{N} \leq 12.000$$

$$R^* 12.000 = \min 20; \text{int}(N) \geq 167 = 167$$

El número de réplicas para el fabricante (componente P1C3) es $R^*=167$ réplicas. Las réplicas R^* de todos los agentes de la subred 1 se encuentra en la tabla 5.3. El paso siguiente es replicar el modelo el mayor número de veces en cada escenario de acuerdo con los resultados de R^* . Por lo tanto, la subred 1 se debe replicar: 173 veces en el escenario 0; 165 réplicas en el escenario 1; 170 veces en el escenario 2 y 196 veces en el escenario 3, de acuerdo con los datos de la tabla 5.3.

Canal	Agente	Componente	Escenario 0		Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
			$S_{\text{exist. anuales}}$	R^*						
P1C3	Fabricante	P1C3	89.451	167	89.118	165	87.061	158	87.818	161
	3A	3A	87.946	161	76.125	121	80.077	134	96.980	196
P1C4	Fabricante	P1C4	91.024	173	84.372	148	83.545	145	92.140	177
	4A	4A	77.227	124	85.094	151	79.551	132	95.673	191
P1C7	Fabricante	P1C7	73.343	112	80.552	135	90.458	170	86.617	156
	7A	7A	84.180	148	85.690	153	73.137	112	94.815	187
	1B	1B	72.693	110	82.028	140	81.672	139	95.018	188
Réplicas de la subred 1			173		165		170		196	

Tabla 5.3. Resultados piloto (número de réplicas R^*) de la subred 1.

5.3.2. Simulación piloto de la subred 2 con PSV.

Los parámetros de gestión de las PSV de la subred 2 se encuentran en la tabla 5.4. El valor de estos parámetros se implementa en el modelo para obtener los resultados piloto contenidos en la tabla 5.5.

E	Agente	Componente	Existencias anuales	Coste(€)		PE	EOQ		
				pedir	mantener		TL	PR	NP
0	Fabricante	P2C1	116.886	80	11	2	1.324	1.013	91
		P2C4	115.087	95	13	2	1.310	987	90
		P2C7	115.981	85	10	2	1.418	995	83
	2A	2A	119.152	55	8	2	1.300	516	95
	5A	5A	123.228	50	5	2	1.578	1.046	79
	10A	10A	118.376	60	6	2	1.554	1.015	78
	1B	1B	123.092	35	4	2	1.475	522	84
1	Fabricante	P2C1	134.722	80	11	2	1.421	1.167	98
		P2C4	131.160	95	13	2	1.406	1.136	96
		P2C7	133.487	85	10	2	1.530	1.156	90
	2A	2A	140.572	55	8	2	1.404	603	102
	5A	5A	141.164	50	5	2	1.706	1.223	85
	10A	10A	138.633	60	6	2	1.691	1.201	85
	1B	1B	145.166	35	4	2	1.602	616	92
2	Fabricante	P2C1	160.761	80	11	2	1.537	1.365	106
		P2C4	152.926	95	13	2	1.503	1.298	103
		P2C7	161.724	85	10	2	1.666	1.373	98
	2A	2A	166.325	55	8	2	1.528	713	111
	5A	5A	163.962	50	5	2	1.839	1.420	92
	10A	10A	160.381	60	6	2	1.809	1.375	90
	1B	1B	160.895	35	4	2	1.704	697	97
3	Fabricante	P2C1	181.204	80	11	2	1.640	1.554	113
		P2C4	175.830	95	13	2	1.619	1.508	111
		P2C7	187.486	85	10	2	1.813	1.624	107
	2A	2A	189.130	55	8	2	1.637	819	119
	5A	5A	189.409	50	5	2	1.976	1.641	99
	10A	10A	187.512	60	6	2	1.956	1.608	98
	1B	1B	186.747	35	4	2	1.826	801	104

E: escenario; PE: plazo de entrega; TL: tamaño de lote; PR: punto de reorden; NP: número de pedidos.

Tabla 5.4. Parámetros de gestión para las PSV de la subred 2.

Los resultados piloto de la subred 2 (ver tabla 5.5) sirven para calcular el número de réplicas R^* de sus agentes (ver fórmula 5.14). Los cálculos indican que el agente 1B tiene el mayor número de réplicas en los escenarios 0 y 1. La mayor cantidad de réplicas en los escenarios 2 y 3 corresponde a los agentes 5A y 10A respectivamente. En conclusión, la subred 2 debe replicarse: 90 veces en el escenario 0; 128 veces en el escenario 1; 111 veces el escenario 2 y 133 veces en el escenario 3.

Canal	Agente	Componente	Escenario 0		Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
			$S_{exist. anuales}$	R^*	$S_{exist. anuales}$	R^*	$S_{exist. anuales}$	R^*	$S_{exist. anuales}$	R^*
P2C1	Fabricante	P2C1	46.212	45	60.833	77	59.628	74	68.882	99
	2A	2A	57.052	68	65.497	90	58.253	71	76.548	122
P2C4	Fabricante	P2C4	49.407	51	57.823	70	64.455	87	62.765	82
	5A	5A	55.780	65	63.148	83	72.885	111	72.481	110
P2C7	Fabricante	P2C7	49.024	50	52.424	58	59.693	74	68.193	97
	10A	10A	57.938	70	61.420	79	60.118	76	79.906	133
	1B	1B	65.501	90	78.395	128	66.274	92	75.863	120
Réplicas de la subred 2			90		128		111		133	

Tabla 5.5. Resultados piloto (número de réplicas R^*) de la subred 2.

5.3.3. Simulación piloto de la subred 3 con PSV.

Los parámetros de gestión de las PSV para la subred 3 se encuentran en la tabla 5.6.

E	Agente	Componente	Existencias anuales	Coste (€)		PE	EOQ		
				pedir	mantener		TL	PR	NP
0	Fabricante	P3C2	125.568	85	11	2	1.393	1.055	90
	12A	12A(1)	131.268	75	5	2	1.984	1.103	66
		12A(2)	134.802	75	4	3	2.248	1.699	60
		12A(3)	139.770	75	5	2	2.048	1.175	68
		12A(4)	142.647	75	5	2	2.069	1.199	69
	2B	2B	131.716	65	3	3	2.389	1.660	55
	3B	3B	135.073	65	2	2	2.963	1.135	46
	4B	4B	142.451	60	3	2	2.387	1.197	60
5B	5B	141.492	60	2	3	2.914	1.784	49	
1	Fabricante	P3C2	146.402	85	11	2	1.504	1.230	97
	12A	12A(1)	151.362	75	5	2	2.131	1.272	71
		12A(2)	154.720	75	4	3	2.409	1.950	64
		12A(3)	162.788	75	5	2	2.210	1.368	74
		12A(4)	161.532	75	5	2	2.201	1.357	73
	2B	2B	151.256	65	3	3	2.560	1.907	59
	3B	3B	153.524	65	2	2	3.159	1.290	49
	4B	4B	165.097	60	3	2	2.570	1.387	64
5B	5B	161.530	60	2	3	3.113	2.036	52	
2	Fabricante	P3C2	166.611	85	11	2	1.605	1.400	104
	12A	12A(1)	168.190	75	5	2	2.246	1.413	75
		12A(2)	168.513	75	4	3	2.514	2.124	67
		12A(3)	180.784	75	5	2	2.329	1.519	78
		12A(4)	179.254	75	5	2	2.319	1.506	77
	2B	2B	171.171	65	3	3	2.723	2.158	63
	3B	3B	170.095	65	2	2	3.325	1.429	51
	4B	4B	179.884	60	3	2	2.682	1.512	67
5B	5B	181.626	60	2	3	3.301	2.289	55	
3	Fabricante	P3C2	190.856	85	11	2	1.717	1.604	111
	12A	12A(1)	199.815	75	5	2	2.448	1.679	82
		12A(2)	198.793	75	4	3	2.730	2.506	73
		12A(3)	204.990	75	5	2	2.480	1.723	83
		12A(4)	203.693	75	5	2	2.472	1.712	82
	2B	2B	195.212	65	3	3	2.908	2.461	67
	3B	3B	194.822	65	2	2	3.559	1.637	55
	4B	4B	208.992	60	3	2	2.891	1.756	72
5B	5B	206.024	60	2	3	3.516	2.597	59	
0	Fabricante	P3C4	128.787	110	17	1	1.291	541	100
	14A	14A(1)	134.711	90	11	2	1.485	1.132	91
		14A(2)	133.948	90	11	2	1.481	1.126	90
		14A(3)	133.170	90	11	2	1.476	1.119	90
		14A(4)	133.488	90	11	2	1.478	1.122	90
	6B	6B(1)	139.934	80	7	3	1.788	1.764	78
		6B(2)	140.651	85	7	2	1.848	1.182	76
		6B(3)	138.597	75	7	2	1.723	1.165	80
	7B	7B	139.446	70	6	2	1.804	1.172	77
	8B	8B	141.795	65	7	3	1.623	1.787	87
	9B	9B	141.415	70	9	2	1.483	1.188	95
	1A	1A	143.262	65	5	2	1.930	1.204	74
	2A	2A	144.135	70	3	3	2.594	1.817	56
1C	1C	147.554	60	4	2	2.104	1.240	70	
2C	2C	148.464	65	5	2	1.965	1.248	76	
1	Fabricante	P3C4	142.704	110	17	1	1.359	600	105
	14A	14A(1)	147.890	90	11	2	1.556	1.243	95
		14A(2)	146.019	90	11	2	1.546	1.227	94
		14A(3)	147.518	90	11	2	1.554	1.240	95
		14A(4)	146.543	90	11	2	1.549	1.231	95

E: escenario; PE: plazo de entrega; TL: tamaño de lote; PR: punto de reorden; NP: número de pedidos.

Tabla 5.6. Parámetros de gestión para las PSV de la subred 3 (continúa).

E	Agente	Componente	Existencias anuales	Coste (€)		PE	EOQ		
				pedir	mantener		TL	PR	NP
1	6B	6B(1)	156.278	80	7	3	1.890	1.970	83
		6B(2)	157.097	85	7	2	1.953	1.320	80
		6B(3)	156.035	75	7	2	1.829	1.311	85
	7B	7B	152.565	70	6	2	1.887	1.282	81
	8B	8B	156.692	65	7	3	1.906	1.775	92
	9B	9B	153.415	70	9	2	1.545	1.289	99
	1A	1A	165.506	65	5	2	2.074	1.391	80
	2A	2A	166.931	70	3	3	2.791	2.104	60
	1C	1C	168.275	60	4	2	2.247	1.414	75
2C	2C	166.870	65	5	2	2.083	1.402	80	
2	Fabricante	P3C4	164.595	110	17	1	1.459	692	113
	14A	14A(1)	168.303	90	11	2	1.662	1.414	101
		14A(2)	166.425	90	11	2	1.650	1.399	101
		14A(3)	168.506	90	11	2	1.661	1.416	101
		14A(4)	166.901	90	11	2	1.653	1.403	101
	6B	6B(1)	174.819	80	7	3	1.999	1.204	87
		6B(2)	175.581	85	7	2	2.065	1.475	85
		6B(3)	172.537	75	7	2	1.923	1.450	90
	7B	7B	172.009	70	6	2	2.003	1.445	86
	8B	8B	177.357	65	7	3	2.815	2.236	98
	9B	9B	175.370	70	9	2	1.652	1.474	106
	1A	1A	182.356	65	5	2	2.177	1.532	84
	2A	2A	184.716	70	3	3	2.936	2.328	63
	1C	1C	187.923	60	4	2	2.374	1.579	79
	2C	2C	186.961	65	5	2	2.205	1.571	85
	3	Fabricante	P3C4	188.891	110	17	1	1.563	794
14A		14A(1)	194.723	90	11	2	1.785	1.636	109
		14A(2)	193.837	90	11	2	1.781	1.629	109
		14A(3)	192.700	90	11	2	1.776	1.619	109
		14A(4)	194.034	90	11	2	1.782	1.631	109
6B		6B(1)	208.879	80	7	3	2.685	2.133	96
		6B(2)	203.393	85	7	2	2.223	1.709	92
		6B(3)	204.148	75	7	2	2.092	1.716	98
7B		7B	209.506	70	6	2	2.211	1.761	95
8B		8B	209.309	65	7	3	2.972	2.638	106
9B		9B	214.644	70	9	2	1.827	1.804	117
1A		1A	214.727	65	5	2	2.363	1.804	91
2A		2A	213.012	70	3	3	3.153	2.685	68
1C		1C	215.703	60	4	2	2.544	1.813	85
2C		2C	213.290	65	5	2	2.355	1.792	91

E: escenario; PE: plazo de entrega; TL: tamaño de lote; PR: punto de reorden; NP: número de pedidos.

Tabla 5.6. Parámetros de gestión para las PSV de la subred 3.

Los resultados de la simulación de la subred 3 se utilizan para calcular el número de réplicas R^* de sus agentes (ver fórmula 5.4). Los cálculos indican que en el escenario 0 el agente 4B tiene el mayor número de réplicas con 154 (ver tabla 5.7). Los resultados del escenario 1 muestran que el agente 2B tiene el número más elevado de réplicas con 138.

Los resultados del escenario 2 muestran que el agente 2A tiene la mayor cantidad de réplicas, y por lo tanto, el modelo debe replicarse 136 veces. Finalmente, en el escenario 3 se observa que el agente 2A tiene, nuevamente, la mayor cantidad de réplicas con 137.

Canal	Agente	Componente	Escenario 0		Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
			$S_{\text{exist. anuales}}$	R^*						
P3C2	Fabricante	P3C2	67.902	96	70.859	105	65.541	90	75.185	118
	12A	12A(1)	74.280	115	78.725	129	69.792	102	72.217	109
		12A(2)	77.692	126	79.084	130	67.950	96	71.790	108
		12A(3)	74.380	115	75.791	120	69.021	99	73.169	112
		12A(4)	75.929	120	78.855	130	68.167	97	73.440	112
	2B	2B	79.817	133	81.366	138	69.115	100	77.452	125
	3B	3B	80.388	135	79.667	132	71.453	106	75.408	119
	4B	4B	86.118	154	80.847	136	75.372	118	77.269	124
5B	5B	77.435	125	79.802	133	69.367	100	74.531	116	
P3C4	Fabricante	P3C4	53.137	59	58.101	71	56.662	67	58.369	71
	14A	14A(1)	58.603	72	62.487	82	71.206	106	68.306	96
		14A(2)	54.411	62	62.679	82	68.940	99	68.153	97
		14A(3)	52.944	59	61.703	80	70.319	103	70.095	103
		14A(4)	55.365	64	60.796	77	71.399	106	72.663	108
	6B	6B(1)	67.341	95	63.051	83	70.886	105	71.795	109
		6B(2)	58.417	95	63.287	84	74.421	115	74.812	117
		6B(3)	56.828	68	62.762	82	70.684	104	71.731	107
	7B	7B	56.956	68	64.521	87	76.767	123	76.454	122
	8B	8B	55.524	65	65.748	90	75.142	118	72.802	111
	9B	9B	56.373	66	66.369	92	77.755	126	73.747	113
	1A	1A	67.683	96	67.226	94	78.750	129	76.913	123
	2A	2A	59.298	74	67.459	95	80.778	136	81.025	137
	1C	1C	58.691	72	67.611	95	77.794	126	78.452	128
2C	2C	58.179	71	68.415	98	78.678	129	79.410	131	
Réplicas de la subred 3			154		138		136		137	

Tabla 5.7. Resultados piloto (número de réplicas R^*) de la subred 3.

5.3.4. Número de réplicas del modelo con PSV.

El cálculo de las réplicas de las tres subredes de la CS se concentra en la tabla 5.8 (ver tablas 5.3, 5.5 y 5.7). Esta información sirve para poder definir el número total de réplicas R^* del modelo, de acuerdo con el valor más alto de R^* de cada escenario del estudio. Por lo tanto, el modelo de la CS con PSV debe replicarse: 173 veces en el escenario 0; 165 veces en el escenario 1; 170 y 196 veces en los escenarios 2 y 3 respectivamente.

Subred	Escenarios			
	0	1	2	3
1	173	165	170	196
2	90	128	111	133
3	154	138	136	137
Réplicas del modelo	173	165	170	196

Tabla 5.8. Número de réplicas del modelo con PSV.

5.3.5. Resultados de la simulación con PSV.

5.3.5.1. Existencias anuales de la subred 1 con PSV.

Los resultados de simulación de la subred 1 con PSV se encuentran en la tabla 5.9. Los resultados indican que el fabricante tiene el nivel más bajo de existencias anuales en los escenarios 0 y 3 (componente P1C7) y en los escenarios 1 y 2 (componente P1C4).

El agente 1B, localizado en el nivel 2 de la subred 1, tiene la mayor cantidad de existencias anuales en los cuatro escenarios simulados (ver tabla 5.9)

Canal	Agente	Componente	Escenarios			
			0	1	2	3
P1C3	Fabricante	P1C3	214.579	237.647	268.287	321.059
	3A	3A	227.934	249.973	279.058	333.806
P1C4	Fabricante	P1C4	219.042	233.663	266.316	320.076
	4A	4A	227.051	245.685	281.842	335.613
P1C7	Fabricante	P1C7	205.522	235.519	267.351	319.544
	10A	10A	214.528	248.796	278.338	330.903
	1B	1B	229.752	251.111	294.182	346.565

Tabla 5.9. Existencias anuales (unidades de componentes) de la subred 1 con PSV.

5.3.5.2. Existencias anuales de la subred 2 con PSV.

Los resultados de la simulación de la subred 2 (ver tabla 5.10) indican que el fabricante (componente P2C4) tiene el menor nivel de existencias anuales en los cuatro escenarios del estudio. Se observa que el agente 5A tiene el mayor nivel de existencias anuales en los escenarios 0 y 3. La mayor cantidad de existencias en los escenarios 1 y 2 la tiene el agente 1B y el agente 2A respectivamente.

Canal	Agente	Componente	Escenarios			
			0	1	2	3
P2C1	Fabricante	P2C1	120.501	138.889	162.385	184.902
	2A	2A	122.837	143.441	169.719	194.979
P2C4	Fabricante	P2C4	117.436	135.216	154.471	179.418
	5A	5A	124.473	145.530	169.033	195.267
P2C7	Fabricante	P2C7	118.348	137.615	163.358	193.285
	10A	10A	120.792	142.921	163.654	191.339
	1B	1B	124.335	146.632	165.871	190.558

Tabla 5.10. Existencias anuales (unidades de componentes) de la subred 2 con PSV.

5.3.5.3. Existencias anuales de la subred 3 con PSV.

Los resultados de la simulación de la subred 3 indican que el fabricante tiene el menor nivel de existencias anuales en los escenarios 0 y 2 (componente P3C2) y en los escenarios 1 y 3 (componente P3C4) (ver tabla 5.11). En la misma tabla se puede ver que el agente 2C tiene el mayor nivel de existencias anuales en los escenarios 0 y 3. El agente 2A y el agente 1C gestionan la mayor cantidad de existencias en los escenarios 1 y 2, respectivamente. Obsérvese que los agentes localizados en el nivel 3 de la subred 3 gestionan el mayor nivel de existencias anuales en los cuatro escenarios del estudio, según los resultados de la simulación.

Los resultados de la simulación con PSV obtenidos en esta parte del estudio sirven para diseñar la estrategia global de suministro que se propone en esta tesis. En los siguientes apartados se explica el desarrollo del diseño de esta estrategia y se conduce el experimento de simulación de la CS en escenarios con PSN. Por último se analizan los resultados de la simulación asociados a las existencias de las subredes de suministro.

Canal	Agente	Componente	Escenarios			
			0	1	2	3
P3C2	Fabricante	P3C2	128.131	149.390	168.294	194.751
	12A	12A(1)	132.594	156.043	173.392	201.833
		12A(2)	135.790	155.934	174.664	199.196
		12A(3)	138.971	157.878	173.725	202.850
		12A(4)	136.437	158.272	175.356	198.798
	2B	2B	144.093	166.110	182.610	209.173
	3B	3B	143.890	166.765	181.701	211.103
	4B	4B	145.558	164.829	184.798	209.993
5B	5B	144.380	166.526	183.461	208.105	
P3C4	Fabricante	P3C4	131.415	145.616	167.954	190.799
	14A	14A(1)	137.460	149.384	171.738	198.697
		14A(2)	136.682	148.999	169.821	199.832
		14A(3)	135.888	150.529	170.208	196.633
		14A(4)	136.212	149.534	170.307	197.994
	6B	6B(1)	141.347	159.467	176.585	210.989
		6B(2)	143.521	158.684	177.355	207.544
		6B(3)	142.883	159.219	176.058	208.314
	7B	7B	142.292	157.283	177.329	211.622
	8B	8B	144.689	159.890	179.148	215.782
	9B	9B	145.789	158.160	178.949	216.812
	1A	1A	147.693	168.884	187.996	216.896
	2A	2A	148.593	170.338	188.486	215.164
	1C	1C	149.044	169.975	189.821	217.882
2C	2C	149.964	168.556	188.849	219.887	

Tabla 5.11. Existencias anuales (unidades de componentes) de la subred 3 con PSV.

5.4. Diseño de la estrategia global suministro.

El diseño de la estrategia global de suministro tiene el objetivo de potenciar la creación de valor en la Cadena de Suministro (CS) que se estudia. Para lograr este objetivo se aprovechan los flujos de información, de componentes y financiero del sistema para construir las Políticas de Suministro Nuevas (PSN) integradas en la estrategia que se propone en este trabajo. El análisis de la información del sistema (ver capítulo 2) y de los resultados de la simulación con Políticas de Suministro Vigentes (PSV) (ver tablas 5.9, 5.10 y 5.11) hacen suponer que el Efecto *Bullwhip* (EB) incrementa el nivel de las existencias anuales de la CS, y en consecuencia, aumenta el coste operativo del sistema total.

La revisión de la literatura indica que las consecuencias del EB se traducen, principalmente, en el incremento desmedido de los costes operativos de la CS (ver apartado 3.4). La presencia del EB en la CS se ve acentuada por la equivocada percepción de los decisores sobre su realidad, que junto con los retrasos en el suministro, generan la volatilidad de la demanda. Estos elementos en conjunto ocasionan que el trabajo de los decisores se caracterice por su complejidad en entornos de alta incertidumbre. En estas circunstancias, la estrategia global de suministro se enfoca a contrarrestar las causas que generan el EB para dar mayor visibilidad a los decisores de la CS.

La construcción de la estrategia global de suministro se fundamenta en el diseño de Políticas de Suministro Nuevas (PSN) desde un enfoque sistémico, tomando como referencia la información de los agentes de la CS. Esta información se integra de los datos de las ventas (ver anexo A), los parámetros de gestión para las Políticas de Suministro Vigentes (PSV) (ver tablas 5.2, 5.4 y 5.6) y la información de las existencias anuales de los agentes (ver tablas 5.9, 5.10 y 5.11). El modelo *Economic Order Quantity* (EOQ) (ver fórmulas 5.1, 5.2 y 5.3) es el instrumento que sirve para construir las PSN de las subredes de la CS.

El diseño de las PSN está sujeto a las siguientes condiciones de los suministradores: el plazo de entrega y el múltiplo de venta. Tocante al múltiplo de venta, éste se utiliza como criterio para ajustar de forma intuitiva los resultados del modelo EOQ. Este ajuste sirve para definir los parámetros de gestión de las PSN. Una vez diseñadas las PSN se implementan en el modelo para replicar el comportamiento de la CS en los escenarios del estudio. La información sobre el comportamiento de la CS con PSN ayuda a comprobar si estas nuevas políticas optimizan la operativa del suministro y contrarrestan la amplificación de la demanda en la CS. También, con esta información se desea saber si la gestión del suministro con PSN proporciona una mayor visibilidad a los decisores de la CS que se estudia.

En el siguiente subapartado se describe el diseño de las PSN para las subredes del sistema, y posteriormente, se conduce el experimento con este tipo de políticas para obtener los resultados asociados a la estrategia propuesta.

5.4.1. Políticas de Suministro Nuevas para la subred 1.

Los parámetros de gestión para las PSN de la subred 1 en los escenarios del estudio (E) se encuentran en la tabla 5.12. Los valores calculados con el modelo EOQ (tamaño de lote, TL; punto de reorden, PR; número de pedidos, NP) han sido redondeados al entero más próximo por comodidad. El valor del múltiplo de venta (MV) de los suministradores sirve para ajustar los valores TL y PR calculados para las PSN (ver tabla 5.12). Por ejemplo, los resultados del modelo EOQ indican que el fabricante (componente P1C3) coloca pedidos de 2.257 unidades de componentes (TL) al agente 3A, volviéndose a suministrar cuando su *stock* descienda a 1.803 unidades de componentes (PR). El ajuste de estos valores con el MV=500 unidades para el fabricante queda como sigue: TL= 2.500 unidades con un PR=2.000 unidades. De esta forma se ajusta el valor para los parámetros de las PSN de los agentes de la CS.

E	Agente	Componente	Existencias anuales PSV	Coste (€)		EOQ			PE	MV	PSN	
				pedir	mantener	TL	PR	NP			TL	PR
0	Fabricante	P1C3	214.579	95	8	2.257	1.803	95	2	500	2.500	2.000
		P1C4	219.042	85	5	2.729	920	80	1	500	3.000	1.000
		P1C7	205.522	90	7	2.299	1.727	89	2	500	2.500	2.000
	3A	3A	227.934	80	4	3.019	1.915	75	2	500	3.000	2.000
	4A	4A	227.051	95	9	2.189	954	104	1	500	2.000	1.000
	7A	7A	214.528	80	6	2.392	1.803	90	2	500	2.500	2.000
	1B	1B	229.752	70	4	2.836	1.931	81	2	500	3.000	2.000
1	Fabricante	P1C3	237.647	95	8	2.376	1.997	100	2	500	2.500	2.000
		P1C4	233.663	85	5	2.819	982	83	1	500	3.000	1.000
		P1C7	235.519	90	7	2.461	1.979	96	2	500	2.500	2.000
	3A	3A	249.973	80	4	3.162	2.101	79	2	500	3.000	2.000
	4A	4A	245.685	95	9	2.277	1.032	108	1	500	2.500	1.000
	7A	7A	248.796	80	6	2.576	2.091	97	2	500	2.500	2.000
	1B	1B	251.111	70	4	2.965	2.110	85	2	500	3.000	2.000
2	Fabricante	P1C3	268.287	95	8	2.524	2.255	106	2	500	2.500	2.500
		P1C4	266.316	85	5	3.009	1.119	89	1	500	3.000	1.500
		P1C7	267.351	90	7	2.622	2.247	102	2	500	2.622	2.500
	3A	3A	279.058	80	4	3.341	2.345	84	2	500	3.500	2.500
	4A	4A	281.842	95	9	2.439	1.184	116	1	500	2.500	1.500
	7A	7A	278.338	80	6	2.724	2.339	102	2	500	3.000	2.500
	1B	1B	294.182	70	4	3.209	2.472	92	2	500	3.500	2.500
3	Fabricante	P1C3	321.059	95	8	2.761	2.698	116	2	500	3.000	2.500
		P1C4	320.076	85	5	3.299	1.345	97	1	500	3.500	1.500
		P1C7	319.544	90	7	2.867	2.685	111	2	500	3.000	2.500
	3A	3A	333.806	80	4	3.654	2.805	91	2	500	3.500	3.000
	4A	4A	335.613	95	9	2.662	1.410	126	1	500	3.000	1.500
	7A	7A	330.903	80	6	2.971	2.781	111	2	500	3.000	2.500
	1B	1B	346.565	70	4	3.483	2.912	100	2	500	3.500	3.000

TL: tamaño de lote; PR: punto de reorden; NP: número de pedidos; PE: plazo de entrega; MV: múltiplo de venta.

Tabla 5.12. Parámetros de gestión para las PSN de la subred 1.

5.4.2. Políticas de Suministro Nuevas para la subred 2.

Los parámetros de gestión para las PSN de la subred 2 en los escenarios del estudio (E) se pueden ver en la tabla 5.13. Los resultados indican que el fabricante (componentes P1C2, P1C4 y P2C7) y sus suministradores colocan pedidos de 2.000 unidades (tamaño de lote, TL) con un punto de reorden (PR) de 1.000 unidades en los cuatro escenarios del estudio. Como se puede observar, el múltiplo de venta (MV) de los proveedores condiciona sobremanera el tamaño del lote de transferencia entre los agentes.

En la tabla 5.13 se puede ver que en el escenario 0, por ejemplo, el fabricante tiene un TL que ronda las 1.400 unidades de componentes y un PR de alrededor de 1.000 unidades de componentes. Estos valores se ajustan a un TL=2.000 unidades y un PR=1.000 unidades, debido a que el MV de los suministradores es de 1.000 unidades. Ante esta situación surge la posibilidad de que el MV de los proveedores afecte la operativa de las PSN, lo cual se podrá comprobar con el análisis de los resultados del estudio.

E	Agente	Componente	Existencias anuales PSV	Coste (€)		EOQ			PE	MV	PSN	
				pedir	mantener	TL	PR	NP			TL	PR
0	Fabricante	P2C1	120.501	80	11	1.324	1.013	91	2	1.000	2.000	1.000
		P2C4	117.436	95	13	1.310	987	90	2	1.000	2.000	1.000
		P2C7	118.348	85	10	1.418	995	83	2	1.000	2.000	1.000
	2A	2A	122.837	55	8	1.300	516	95	1	1.000	2.000	1.000
	5A	5A	124.473	50	5	1.578	1.046	79	2	1.000	2.000	1.000
	10A	10A	120.792	60	6	1.554	1.015	78	2	1.000	2.000	1.000
	1B	1B	124.335	35	4	1.475	522	84	1	1.000	2.000	1.000
1	Fabricante	P2C1	138.889	80	11	1.421	1.167	98	2	1.000	2.000	1.000
		P2C4	135.216	95	13	1.406	1.136	96	2	1.000	2.000	1.000
		P2C7	137.615	85	10	1.530	1.156	90	2	1.000	2.000	1.000
	2A	2A	143.441	55	8	1.404	603	102	1	1.000	2.000	1.000
	5A	5A	145.530	50	5	1.706	1.223	85	2	1.000	2.000	1.000
	10A	10A	142.921	60	6	1.691	1.201	85	2	1.000	2.000	1.000
	1B	1B	146.632	35	4	1.602	616	92	1	1.000	2.000	1.000
2	Fabricante	P2C1	162.385	80	11	1.537	1.365	106	2	1.000	2.000	1.000
		P2C4	154.471	95	13	1.503	1.298	103	2	1.000	2.000	1.000
		P2C7	163.358	85	10	1.666	1.373	98	2	1.000	2.000	1.000
	2A	2A	169.719	55	8	1.528	713	111	1	1.000	2.000	1.000
	5A	5A	169.033	50	5	1.839	1.420	92	2	1.000	2.000	1.000
	10A	10A	163.654	60	6	1.809	1.375	90	2	1.000	2.000	1.000
	1B	1B	165.871	35	4	1.704	697	97	1	1.000	2.000	1.000
3	Fabricante	P2C1	184.902	80	11	1.640	1.554	113	2	1.000	2.000	1.000
		P2C4	179.418	95	13	1.619	1.508	111	2	1.000	2.000	1.000
		P2C7	193.285	85	10	1.813	1.624	107	2	1.000	2.000	1.000
	2A	2A	194.979	55	8	1.637	819	119	1	1.000	2.000	1.000
	5A	5A	195.267	50	5	1.976	1.641	99	2	1.000	2.000	1.000
	10A	10A	191.339	60	6	1.956	1.608	98	2	1.000	2.000	1.000
	1B	1B	190.558	35	4	1.826	801	104	1	1.000	2.000	1.000

TL: tamaño de lote; PR: punto de reorden; NP: número de pedidos; PE: plazo de entrega; MV: múltiplo de venta.

Tabla 5.13. Parámetros de gestión para las PSN de la subred 2.

5.4.3. Políticas de Suministro Nuevas para la subred 3.

Los parámetros de gestión para las PSN de la subred 3 en los escenarios del estudio (E) se encuentran en la tabla 5.14. El múltiplo de venta (MV) de los suministradores es de 500 unidades de componentes, el cual se toma criterio para ajustar el tamaño de lote (TL) y el punto de reorden (PR) de las nuevas políticas propuestas. Por ejemplo, el fabricante (componente P3C2) tiene un TL=1.407 unidades de componentes y un PR=1.077 unidades de componentes de acuerdo con los cálculos del modelo EOQ. El ajuste de estos valores con un MV=500 unidades queda como sigue: TL=1.500 unidades con un PR=1.000 unidades. De esta forma se ajusta el TL de los agentes de la subred 3.

Una vez hecho el ajuste del TL de los agentes de las tres subredes de la CS, se puede decir que el MV=500 unidades es un valor más conveniente para ajustar los parámetros de gestión de las PSN de las subredes 1 y 3 (ver tablas 5.12 y 5.14), en comparación con el MV=1.000 unidades que se utiliza para la subred 2 (ver tabla 5.13).

E	Agente	Componente	Existencias anuales PSV	Coste (€)		EOQ			PE	MV	PSN	
				Pedir	mantener	TL	PR	NP			TL	PR
0	Fabricante	P3C2	128.131	85	11	1.407	1.077	91	2	500	1.500	1.000
	12A	12A(1)	132.594	75	5	1.994	1.114	66	2	500	2.000	1.000
		12A(2)	135.790	75	4	2.257	1.712	60	3	500	2.500	1.500
		12A(3)	138.971	75	5	2.042	1.168	68	2	500	2.000	1.000
		12A(4)	136.437	75	5	2.023	1.147	67	2	500	2.000	1.000
	2B	2B	144.093	65	3	2.499	1.816	58	3	500	2.500	2.000
	3B	3B	143.890	65	2	3.058	1.209	47	2	500	3.000	1.500
	4B	4B	145.558	60	3	2.413	1.223	60	2	500	2.500	1.500
5B	5B	144.380	60	2	2.943	1.820	49	3	500	3.000	2.000	
1	Fabricante	P3C2	149.390	85	11	1.519	1.255	98	2	500	1.500	1.000
	12A	12A(1)	156.043	75	5	2.164	1.311	72	2	500	2.000	1.500
		12A(2)	155.934	75	4	2.418	1.966	64	3	500	2.500	2.000
		12A(3)	157.878	75	5	2.176	1.327	73	2	500	2.000	1.500
		12A(4)	158.272	75	5	2.179	1.330	73	2	500	2.000	1.500
	2B	2B	166.110	65	3	2.683	2.094	62	3	500	2.500	2.000
	3B	3B	166.765	65	2	3.292	1.401	51	2	500	3.500	1.500
	4B	4B	164.829	60	3	2.568	1.385	64	2	500	2.500	1.500
5B	5B	166.526	60	2	3.161	2.099	53	3	500	3.000	2.000	
2	Fabricante	P3C2	168.294	85	11	1.613	1.414	104	2	500	2.000	1.500
	12A	12A(1)	173.392	75	5	2.281	1.457	76	2	500	2.500	1.500
		12A(2)	174.664	75	4	2.559	2.202	68	3	500	2.500	2.000
		12A(3)	173.725	75	5	2.283	1.460	76	2	500	2.500	1.500
		12A(4)	175.356	75	5	2.294	1.474	76	2	500	2.500	1.500
	2B	2B	182.610	65	3	2.813	2.302	65	3	500	3.000	2.500
	3B	3B	181.701	65	2	3.437	1.527	53	2	500	3.500	1.500
	4B	4B	184.798	60	3	2.719	1.553	68	2	500	3.000	1.500
5B	5B	183.461	60	2	3.318	2.313	55	3	500	3.500	2.500	
3	Fabricante	P3C2	194.751	85	11	1.735	1.637	112	2	500	2.500	1.500
	12A	12A(1)	201.833	75	5	2.461	1.696	82	2	500	2.500	1.500
		12A(2)	199.196	75	4	2.733	2.511	73	3	500	3.000	2.500
		12A(3)	202.850	75	5	2.467	1.705	82	2	500	2.500	2.000
		12A(4)	198.798	75	5	2.442	1.671	81	2	500	2.500	1.500
	2B	2B	209.173	65	3	3.011	2.637	69	3	500	3.000	2.500
	3B	3B	211.103	65	2	3.704	1.774	57	2	500	4.000	1.500
	4B	4B	209.993	60	3	2.898	1.765	72	2	500	3.000	2.000
5B	5B	208.105	60	2	3.534	2.623	59	3	500	3.500	2.500	
0	Fabricante	P3C4	131.415	110	17	1.304	552	101	1	500	1.500	500
	14A	14A(1)	137.460	90	11	1.500	1.155	92	2	500	1.500	1.000
		14A(2)	136.682	90	11	1.496	1.149	91	2	500	1.500	1.000
		14A(3)	135.888	90	11	1.491	1.142	91	2	500	1.500	1.000
		14A(4)	136.212	90	11	1.493	1.145	91	2	500	1.500	1.000
	6B	6B(1)	141.347	80	7	1.797	1.188	79	2	500	2.000	1.000
		6B(2)	143.521	85	7	1.867	1.206	77	2	500	2.000	1.500
		6B(3)	142.883	75	7	1.750	1.201	82	2	500	2.000	1.500
	7B	7B	142.292	70	6	1.822	1.196	78	2	500	2.000	1.000
	8B	8B	144.689	65	7	2.946	1.824	49	3	500	3.000	2.000
	9B	9B	145.789	70	7	1.708	1.225	85	2	500	2.000	1.500
	1A	1A	147.693	65	5	1.960	1.241	75	2	500	2.000	1.500
	2A	2A	148.593	70	3	2.633	1.873	56	3	500	2.500	2.000
	1C	1C	149.044	60	4	2.115	1.252	70	2	500	2.000	1.500
2C	2C	149.964	65	5	1.975	1.260	76	2	500	2.000	1.500	
1	Fabricante	P3C4	145.616	110	17	1.373	612	106	1	500	1.500	1.000
	14A	14A(1)	149.384	90	11	1.563	1.255	96	2	500	2.000	1.500
		14A(2)	148.999	90	11	1.561	1.252	95	2	500	2.000	1.500
		14A(3)	150.529	90	11	1.569	1.265	96	2	500	2.000	1.500
		14A(4)	149.534	90	11	1.564	1.257	96	2	500	2.000	1.500
	6B	6B(1)	159.467	80	7	1.909	1.340	84	2	500	2.000	1.500
		6B(2)	158.684	85	7	1.963	1.333	81	2	500	2.000	1.500
		6B(3)	159.219	75	7	1.847	1.338	86	2	500	2.000	1.500

TL: tamaño de lote; PR: punto de reorden; NP: número de pedidos; PE: plazo de entrega; MV: múltiplo de venta.

Tabla 5.14. Parámetros de gestión para las PSN de la subred 3 (continúa).

E	Agente	Componente	Existencias anuales PSV	Coste (€)		EOQ			PE	MV	PSN		
				pedir	mantener	TL	PR	NP			TL	PR	
1	7B	7B	157.283	70	6	1.916	1.322	82	2	500	2.000	1.500	
	8B	8B	159.890	65	7	2.946	2.015	54	3	500	3.000	2.000	
	9B	9B	158.160	70	7	1.779	1.329	89	2	500	2.000	1.500	
	1A	1A	168.884	65	5	2.095	1.419	81	2	500	2.000	1.500	
	2A	2A	170.338	70	3	2.819	2.147	60	3	500	3.000	2.000	
	1C	1C	169.975	60	4	2.258	1.428	75	2	500	2.500	1.500	
	2C	2C	168.556	65	5	2.093	1.416	81	2	500	2.000	1.500	
2	Fabricante	P3C4	167.954	110	17	1.474	706	114	1	500	1.500	1.000	
	14A	14A(1)	171.738	90	11	1.676	1.443	102	2	500	2.000	1.500	
		14A(2)	169.821	90	11	1.667	1.427	102	2	500	2.000	1.500	
		14A(3)	170.208	90	11	1.669	1.430	102	2	500	2.000	1.500	
		14A(4)	170.307	90	11	1.669	1.431	102	2	500	2.000	1.500	
	6B	6B(1)	176.585	80	7	2.009	1.484	88	2	500	2.000	1.500	
		6B(2)	177.355	85	7	2.075	1.490	85	2	500	2.000	1.500	
		6B(3)	176.058	75	7	1.942	1.479	91	2	500	2.000	1.500	
	7B	7B	177.329	70	6	2.034	1.490	87	2	500	2.000	1.500	
	8B	8B	179.148	65	7	2.946	2.258	61	3	500	3.000	2.500	
	9B	9B	178.949	70	7	1.892	1.504	95	2	500	2.000	1.500	
	1A	1A	187.996	65	5	2.211	1.580	85	2	500	2.500	1.500	
	2A	2A	188.486	70	3	2.966	2.376	64	3	500	3.000	2.500	
	1C	1C	189.821	60	4	2.386	1.595	80	2	500	2.500	1.500	
	2C	2C	188.849	65	5	2.216	1.587	85	2	500	2.500	1.500	
	3	Fabricante	P3C4	190.799	110	17	1.571	802	121	1	500	1.500	1.000
		14A	14A(1)	198.697	90	11	1.803	1.670	110	2	500	2.000	1.500
14A(2)			199.832	90	11	1.808	1.679	111	2	500	2.000	1.500	
14A(3)			196.633	90	11	1.794	1.652	110	2	500	2.000	1.500	
14A(4)			197.994	90	11	1.800	1.664	110	2	500	2.000	1.500	
6B		6B(1)	210.989	80	7	2.196	1.773	96	2	500	2.500	2.000	
		6B(2)	207.544	85	7	2.245	1.744	92	2	500	2.500	2.000	
		6B(3)	208.314	75	7	2.113	1.751	99	2	500	2.500	2.000	
7B		7B	211.622	70	6	2.222	1.778	95	2	500	2.500	2.000	
8B		8B	215.782	65	7	2.946	2.720	73	3	500	3.000	2.500	
9B		9B	216.812	70	7	2.082	1.822	104	2	500	2.500	2.000	
1A		1A	216.896	65	5	2.375	1.823	91	2	500	2.500	2.000	
2A		2A	215.164	70	3	3.169	2.712	68	3	500	3.500	3.000	
1C		1C	217.882	60	4	2.557	1.831	85	2	500	2.500	2.000	
2C		2C	219.887	65	5	2.391	1.848	92	2	500	2.500	2.000	

TL: tamaño de lote; PR: punto de reorden; NP: número de pedidos; PE: plazo de entrega; MV: múltiplo de venta.

Tabla 5.14. Parámetros de gestión para las PSN de la subred 3.

5.5. Conducción del experimento con Políticas de Suministro Nuevas (PSN).

La conducción del experimento con el modelo en escenarios con Políticas de Suministro Nuevas (PSN) se realiza de forma similar a la experimentación con el modelo en escenarios con Políticas de Suministro Vigentes (PSV) (ver apartado 5.3), como se puede ver en los siguientes apartados.

El modelo con PSN se replica 200 veces a nivel piloto para disponer de resultados que ayuden a calcular el número de réplicas R^* con la fórmula 5.4 (ver apartado 5.3.1). Los cálculos del número de réplicas R^* para las subredes de suministro del sistema se presentan en los siguientes subapartados.

5.5.1. Simulación piloto de la subred 1 con PSN.

Las réplicas R^* del modelo calculadas con la desviación estándar de las existencias anuales ($S_{exist. anuales}$) de los agentes (ver tabla 5.15) indica que el modelo debe replicarse: 74 veces en el escenario 0; 71 veces en el escenario 1; 46 veces y 51 veces en los escenarios 2 y 3 respectivamente.

Canal	Agente	Componente	Escenario 0		Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
			$S_{exist. anuales}$	R^*						
P1C3	Fabricante	P1C3	56.376	66	58.186	71	46.855	46	35.922	27
	3A	3A	48.788	50	44.238	41	40.826	35	45.663	44
P1C4	Fabricante	P1C4	57.006	68	38.126	30	33.255	23	49.416	51
	4A	4A	47.482	47	37.378	30	34.073	25	43.710	40
P1C7	Fabricante	P1C7	49.055	50	49.827	52	44.216	40	38.141	31
	10A	10A	59.594	74	52.282	57	39.245	32	38.325	31
	1B	1B	55.964	66	43.466	40	34.748	26	48.944	50
Réplicas de la subred 1			74		71		46		51	

Tabla 5.15. Resultados piloto (número de réplicas R^*) con PSN de la subred 1.

5.5.2. Simulación piloto de la subred 2 con PSN.

Los resultados de la subred 2 (ver tabla 5.16) indican que el modelo debe replicarse: 54 veces en el escenario 0; 59 veces en el escenario 1; 74 veces en el escenario 2 y 87 veces en el escenario 3.

Canal	Agente	Componente	Escenario 0		Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
			$S_{exist. anuales}$	R^*						
P2C1	Fabricante	P2C1	46.212	45	50.833	54	49.628	52	61.882	80
	2A	2A	40.052	34	51.497	56	48.253	49	63.548	84
P2C4	Fabricante	P2C4	42.407	38	47.823	48	54.455	62	62.765	82
	5A	5A	50.780	54	53.148	59	58.885	72	64.481	87
P2C7	Fabricante	P2C7	44.024	41	52.424	58	59.693	74	58.193	71
	10A	10A	37.938	30	51.420	55	56.118	66	59.906	75
	1B	1B	40.501	45	48.395	49	57.274	69	55.863	65
Réplicas de la subred 2			54		59		74		87	

Tabla 5.16. Resultados piloto (número de réplicas R^*) con PSN de la subred 2.

5.5.3. Simulación piloto de la subred 3 con PSN.

Los resultados de la subred 3 (ver tabla 5.17) indican que el modelo debe replicarse 73 veces en el escenario 0; 77 veces en el escenario 1; 104 veces en el escenario 2 y 111 veces en el escenario 3.

Canal	Agente	Componente	Escenario 0		Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
			$S_{exist. anuales}$	R^*	$S_{exist. anuales}$	R^*	$S_{exist. anuales}$	R^*	$S_{exist. anuales}$	R^*
P3C2	Fabricante	P3C2	55.675	65	59.666	74	63.632	85	65.995	91
	12A	12A(1)	51.695	56	55.929	65	62.541	82	66.114	91
		12A(2)	54.945	63	57.363	69	64.029	86	69.382	100
		12A(3)	51.790	56	58.453	71	64.377	87	68.038	97
		12A(4)	53.778	61	57.141	68	61.327	79	71.301	106
	2B	2B	59.225	73	60.163	70	64.534	87	70.764	104
	3B	3B	58.629	72	60.458	76	66.459	92	71.212	106
	4B	4B	55.562	65	59.854	75	63.468	84	73.018	111
5B	5B	56.866	68	60.764	77	65.111	89	71.664	107	

Tabla 5.17. Resultados piloto (número de réplicas R^*) con PSN de la subred 3 (continúa).

Canal	Agente	Componente	Escenario 0		Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
			$S_{\text{exist. anuales}}$	R	$S_{\text{exist. anuales}}$	R	$S_{\text{exist. anuales}}$	R	$S_{\text{exist. anuales}}$	R
P3C4	Fabricante	P3C4	43.072	39	45.859	44	51.083	55	61.580	79
	14A	14A(1)	45.263	43	46.280	45	59.722	75	59.183	73
		14A(2)	41.071	36	46.595	46	59.291	73	58.390	71
		14A(3)	39.604	33	45.738	44	59.423	74	59.302	74
		14A(4)	42.025	37	46.350	45	61.513	79	61.614	79
	6B	6B(1)	54.001	61	47.302	47	62.337	81	62.223	81
		6B(2)	45.077	43	48.233	49	65.154	89	65.086	89
		6B(3)	43.488	40	48.284	49	62.089	81	62.180	81
	7B	7B	43.616	40	48.338	49	65.415	89	65.751	90
	8B	8B	42.184	37	49.041	50	63.665	85	63.754	85
	9B	9B	43.033	39	48.450	49	63.579	84	62.899	83
	1A	1A	54.343	62	51.535	56	68.216	97	68.056	97
	2A	2A	45.958	44	50.320	53	70.667	104	71.100	105
	1C	1C	45.351	43	51.215	55	69.139	100	68.626	98
2C	2C	44.839	42	52.063	57	69.049	99	69.437	101	
Réplicas de la subred 3			73		77		104		111	

Tabla 5.17. Resultados piloto (número de réplicas R^*) con PSN de la subred 3.

5.5.4. Número de réplicas del modelo con PSN.

El número de réplicas R^* del modelo en los escenarios del estudio resulta ser menor a las 200 réplicas piloto realizadas (ver 5.5), como se puede observar en la tabla 5.18. Por lo tanto, los resultados piloto se toman como los resultados definitivos de la simulación de la CS en escenarios con PSN.

Subred	Escenarios			
	0	1	2	3
1	74	71	46	51
2	54	59	74	87
3	73	77	104	111
Réplicas del modelo	74	77	104	111

Tabla 5.18. Número de réplicas del modelo con PSN.

5.5.5. Resultados de la simulación con PSN.

5.5.5.1. Existencias anuales de la subred 1 con PSN.

Los resultados indican que el fabricante tiene el menor nivel de existencias en los cuatro escenarios del estudio (componentes P1C4 y P1C7) como se puede ver en la tabla 5.19. El nivel más alto de existencias lo tiene el agente 1B en los escenarios 0, 2 y 3 y el agente 4A en el escenario 1.

Canal	Agente	Componente	Escenarios			
			0	1	2	3
P1C3	Fabricante	P1C3	195.267	216.259	238.775	295.374
	3A	3A	209.603	225.976	256.771	317.902
P1C4	Fabricante	P1C4	192.757	212.633	237.021	294.470
	4A	4A	208.075	232.117	262.221	317.308
P1C7	Fabricante	P1C7	194.970	211.967	237.942	303.980
	10A	10A	203.785	224.916	256.137	319.022
	1B	1B	210.479	229.411	271.280	327.174

Tabla 5.19. Existencias anuales (unidades de componentes) de la subred 1 con PSN.

5.5.5.2. Existencias anuales de la subred 2 con PSN.

Los resultados indican que los agentes con menor cantidad de existencias anuales son: el agente 10A en el escenario 0 y el fabricante (componente P2C4) en los escenarios 1, 2 y 3 (ver tabla 5.20). Los agentes con la mayor cantidad de existencias anuales son: el agente 5A en el escenario 1; el agente 1B en el escenario 2 y el agente 2A en los escenarios 2 y 3.

Canal	Agente	Componente	Escenarios			
			0	1	2	3
P2C1	Fabricante	P2C1	110.861	129.167	154.266	177.506
	2A	2A	114.238	131.966	162.930	187.180
P2C4	Fabricante	P2C4	108.041	124.399	148.292	170.447
	5A	5A	115.760	133.887	162.271	185.503
P2C7	Fabricante	P2C7	110.064	126.606	155.190	183.621
	10A	10A	111.921	132.917	157.108	181.772
	1B	1B	115.145	136.368	157.577	182.935

Tabla 5.20. Existencias anuales (unidades de componentes) de la subred 2 con PSN.

5.5.5.3. Existencias anuales de la subred 3 con PSN.

Los resultados indican que el fabricante (componente P3C2) tiene el menor nivel de existencias anuales en los cuatro escenarios de experimentación (ver tabla 5.21). El mayor nivel de existencias anuales lo tienen: el agente 2C en los escenarios 0 y 3; el agente 1C en el escenario 1 y el agente 1A en el escenario 2, de acuerdo con los resultados de la simulación.

Canal	Agente	Componente	Escenarios			
			0	1	2	3
P3C2	Fabricante	P3C2	120.371	137.607	158.196	179.398
	12A	12A(1)	124.312	147.400	164.722	186.903
		12A(2)	123.565	148.758	163.718	187.424
		12A(3)	122.364	148.406	165.896	188.099
		12A(4)	124.158	146.359	163.291	186.092
	2B	2B	133.124	156.143	173.479	198.714
	3B	3B	131.957	155.727	172.122	196.437
	4B	4B	129.728	154.119	173.710	199.513
5B	5B	132.413	155.500	171.574	197.700	
P3C4	Fabricante	P3C4	121.675	138.560	158.599	183.975
	14A	14A(1)	126.519	142.201	163.532	189.837
		14A(2)	127.780	143.977	163.951	190.066
		14A(3)	126.079	142.722	165.981	189.048
		14A(4)	127.014	144.290	165.934	190.566
	6B	6B(1)	138.079	148.155	168.380	197.636
		6B(2)	135.784	149.086	169.300	196.646
		6B(3)	138.140	147.775	168.407	199.759
	7B	7B	137.017	147.393	169.300	199.695
	8B	8B	138.890	150.979	171.818	203.057
	9B	9B	137.609	152.726	170.842	205.818
	1A	1A	140.333	159.831	180.756	205.878
	2A	2A	140.748	158.350	179.203	206.216
1C	1C	142.750	160.919	178.856	206.158	
2C	2C	145.343	159.251	179.649	207.997	

Tabla 5.21. Existencias anuales (unidades de componentes) de la subred 3 con PSN.

5.6. Conclusiones.

En este capítulo se desarrolla el diseño y conducción del experimento con el modelo de simulación, cuyos resultados representan el comportamiento de la Cadena de Suministro (CS) en escenarios con Políticas de Suministro Vigentes (PSV) y con Políticas de Suministro Nuevas (PSN).

El principal objetivo que se alcanza en la fase de diseño es conceptuar los escenarios de experimentación lo más cercano a la realidad industrial. Adicionalmente, otro objetivo que se logra en la fase de diseño es la obtención de un sistema integral de medición del rendimiento de la CS (ver apartado 3.4). El logro de estos dos objetivos es bastante útil para poder analizar en profundidad el comportamiento de la CS en el siguiente capítulo.

La fase de conducción del experimento se orienta a simular el comportamiento de la CS en escenarios con PSV y con PSN. Los resultados obtenidos de la simulación con PSV indican que el nivel de las existencias de los agentes es bastante elevado, lo cual repercute gravemente en sus costes operativos. Estos resultados hacen suponer que la amplificación de la demanda, o Efecto *Bullwhip* (EB), impacta fuertemente en el rendimiento integral del sistema logístico. De acuerdo con el análisis de la operativa de las PSV, puede afirmarse que el origen del EB se encuentra en la irregularidad del tamaño de lotes que suministran los proveedores y la alta variabilidad de sus plazos de entrega.

Desde una perspectiva general, se puede decir que la conducción del experimento es una de las etapas que consume una considerable cantidad de tiempo-máquina. Durante el desarrollo de esta parte del estudio se observa que las réplicas del modelo en escenarios con PSV son de mayor duración que en escenarios con PSN. Es posible que esto se deba al esfuerzo del *software* y del *hardware* para replicar la volatilidad de la demanda y las fuertes fluctuaciones de inventario a lo largo de la CS, entre otras actividades operativas del sistema. El valor de los parámetros del sistema con PSN reduce el tamaño de muestra de las observaciones del estudio (ver apartado 5.5), y en consecuencia, disminuye el tiempo de conducción del experimento. Por lo tanto, se puede decir que la conducción del experimento en escenarios con PSN consume menos tiempo-maquina, debido a la estabilidad de los parámetros del sistema (p.e.: el número de comandas y los niveles de inventario). En conclusión, el tiempo de conducción del experimento depende del nivel de variabilidad de los parámetros del sistema.

El diseño de la estrategia global de suministro propuesta en esta tesis tiene como referente principal la aportación de los investigadores sobre la gestión del flujo de información y del flujo de materiales de la CS (ver apartado 3.3). La construcción de la estrategia global tiene como ingredientes primordiales: a) la información del sistema del mundo real (capítulo 2) y b) los resultados de la simulación con PSV relacionados a las existencias anuales (ver tablas 5.9, 5.10 y 5.11).

Según los resultados de la simulación, las PSN disminuyen de forma significativa el nivel de existencias anuales a lo largo de la CS (ver tablas 5.19, 5.20 y 5.21). Estos primeros resultados ayudan a vislumbrar la mejora del funcionamiento del sistema objeto de estudio. El análisis completo del rendimiento de la CS por medio del sistema integral de medición se presenta en el capítulo siguiente.

Finalmente, los resultados de la simulación de la CS en escenarios con PSV y PSN integran los resultados del estudio, los cuales se analizan de forma detallada en el siguiente capítulo con el propósito de determinar el impacto de la estrategia global de suministro propuesta en esta tesis.

Capítulo 6.

Medición del rendimiento de la Cadena de Suministro.

6.1. Introducción.

En este capítulo se realiza el análisis del rendimiento de la Cadena de Suministro (CS) de la tesis. El análisis consiste en comparar los resultados de la simulación de las tres subredes de la CS en escenarios con Políticas de Suministro Vigentes (PSV) y con Políticas de Suministro Nuevas (PSN), del modo en que se presenta en la figura 6.1 y de acuerdo con las métricas definidas en el apartado 5.2.2. En esta comparativa se utiliza la fórmula 6.1 para calcular el porcentaje de reducción de cualquier métrica al pasar de PSV a PSN. Posteriormente, se examina el rendimiento integral de la CS en función de los escenarios simulados y se formulan las conclusiones del capítulo.

$$RVN_{(x)} = \frac{x_{PSV} - x_{PSN}}{x_{PSV}} \cdot 100 \quad \text{Fórmula 6.1.}$$

Donde:

X = Indicador: existencias anuales, Efecto *Bullwhip*...

RVN(x) = Porcentaje de reducción del indicador *x* entre PSV y PSN.

x_{PSV} = Valor del indicador *x* para los agentes bajo PSV.

x_{PSN} = Valor del indicador *x* para los agentes bajo PSN.

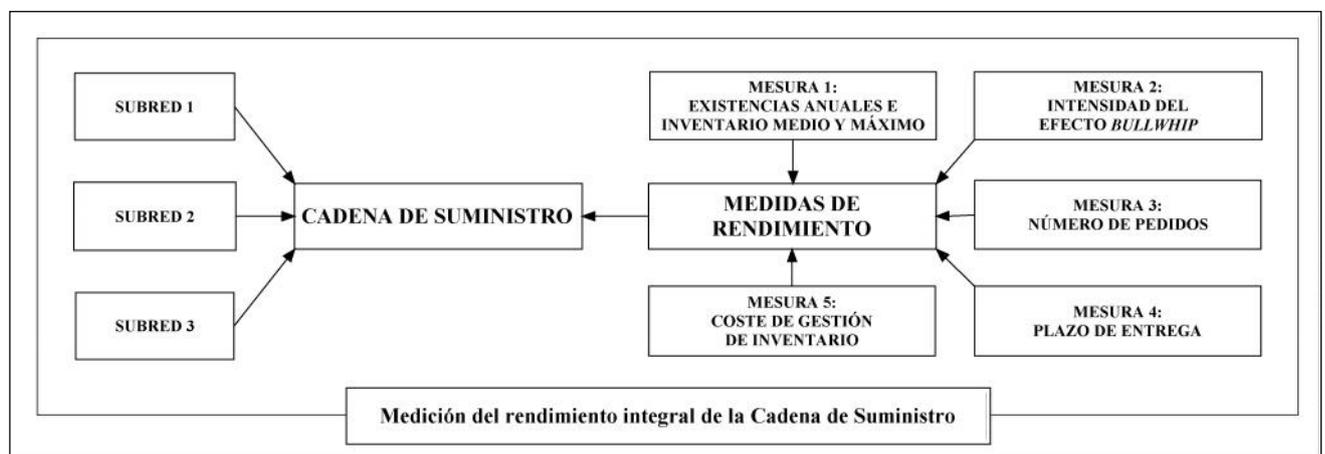


Figura 6.1. Medición del rendimiento integral de la CS bajo estudio (capítulo 6).

6.2. Existencias anuales de la Cadena de Suministro.

6.2.1. Análisis de las existencias anuales de la subred 1.

El código de los agentes de la subred 1 y de sus componentes (ver tabla 6.1) sirve para interpretar los resultados del estudio (ver anexos B y C), lo cual se hace en números redondos por comodidad.

Canal	Fabricante	Proveedores					
		Nivel 1		Nivel 2		Nivel 3	
		Agente	Componente	Agente	Componente	Agente	Componente
PIC3	PIC3	3A	3A	-		-	
PIC4	PIC4	4A	4A				
PIC7	PIC7	10A	10A	1B	1B		

Tabla 6.1. Códigos utilizados en la subred 1.

Los resultados (en millares de unidades de componentes) se presentan en la figura 6.2, de donde destaca lo siguiente:

En el escenario 0 con PSV las existencias anuales son, como mínimo, de 205.500 unidades (fabricante, componente PIC7) y como máximo de 229.800 unidades (agente 1B). Pero con PSN las existencias anuales disminuyen a valores de entre 193.800 unidades (fabricante, componente PIC4) y 210.500 unidades (agente 1B).

En el escenario 1 las existencias anuales de la subred 1 son mayores con PSV (entre 233.600 unidades y 251.100 unidades) que con PSN (entre 212.000 unidades y 232.100 unidades).

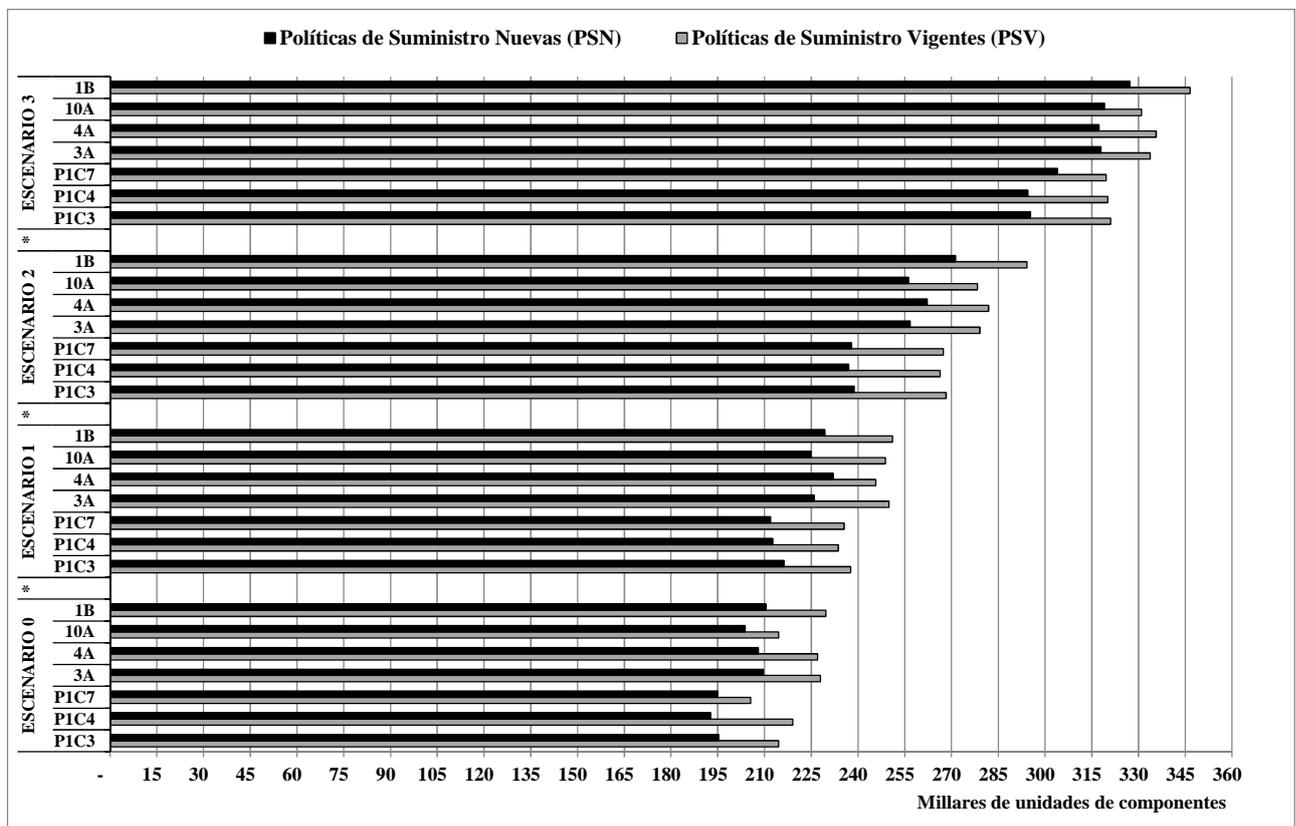


Figura 6.2. Existencias anuales (millares de unidades) de la subred 1.

En el escenario 2 el fabricante con PSV tiene existencias anuales que rondan las 267.000 unidades de componentes, pero disminuyen con PSN a valores de alrededor de 238.000 unidades de componentes. Los agentes 3A, 4A y 10A con PSV tienen un valor medio de existencias anuales de 280.000 unidades, que disminuye con PSN a un valor medio de 262.200 unidades. El agente 1B pasa de 294.200 unidades con PSV a 271.300 unidades con PSN.

En el escenario 3 el fabricante tiene más existencias con PSV (alrededor de 319.000 unidades) que con PSN (entre 295.000 y 304.000 unidades). Las existencias de los agentes 3A, 4A y 10A con PSV varían de entre 331.000 y 335.500 unidades, mientras que con PSN disminuyen a valores que rondan las 318.000 unidades. El agente 1B gestiona más inventario con PSV (346.500 unidades) que con PSN (327.200 unidades).

El porcentaje de reducción de existencias anuales entre PSV y PSN $RVN_{(ea)}$ de la subred 1 (ver tabla 6.2) se calcula con la fórmula 6.1. En el escenario 0 el mínimo $RVN_{(ea)}$ es de un 5,01% (agente 10A), y el máximo $RVN_{(ea)}$ es de un 12% (fabricante, componente P1C4). En el escenario 1 el $RVN_{(ea)}$ varía de entre un 5,52% (agente 4A) y un 10,08% (fabricante, componente P1C7). En el escenario 2 el mínimo $RVN_{(ea)}$ es de un 6,96% (agente 4A) y el máximo $RVN_{(ea)}$ es de un 11,27% (fabricante, componente P1C7). En el escenario 3 el menor $RVN_{(ea)}$ es de un 3,59% (agente 10A) y el mayor $RVN_{(ea)}$ es de un 8,05% (fabricante, componente P1C4).

Agente	Componente	Escenario 0	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Fabricante	P1C3	9,00%	9,05%	11,13%	8,01%
	P1C4	12,00%	9,10%	11,04%	8,05%
	P1C7	5,13%	10,08%	11,27%	4,87%
3A	3A	8,04%	9,55%	7,99%	4,76%
4A	4A	8,36%	5,52%	6,96%	5,45%
10A	10A	5,01%	9,61%	7,98%	3,59%
1B	1B	8,39%	8,64%	7,78%	5,60%

Tabla 6.2. Reducción (%) de las existencias anuales entre PSV y PSN $RVN_{(ea)}$ de la subred 1.

6.2.2. Análisis de las existencias anuales de la subred 2.

El código de los agentes de la subred 2 y de sus componentes (ver tabla 6.3) sirve para interpretar los resultados de los escenarios simulados (ver anexos B y C).

Canal	Fabricante	Proveedores					
		Nivel 1		Nivel 2		Nivel 3	
	Componente	Agente	Componente	Agente	Componente	Agente	Componente
P2C1	P2C1	2A	2A	-		-	
P2C4	P2C4	5A	5A				
P2C7	P2C7	10A	10A	1B	1B		

Tabla 6.3. Códigos utilizados en la subred 2.

Los resultados de la simulación (en millares de unidades de componentes) se grafican en la figura 6.3 y se comentan a continuación:

En el escenario 0 con PSV las existencias del fabricante (componentes P2C1, P2C4 y P2C7) y del agente 10A (nivel 1 de la CS) son de alrededor de 119.000 unidades de componentes. Con PSN las existencias del fabricante y del agente 10A disminuyen a valores que rondan las 110.000 unidades. Las existencias de los agentes 2A, 5A y 1B (nivel 2 de la CS) son de alrededor de 124.000 unidades con PSV, pero con PSN disminuyen a 114.000 unidades.

En el escenario 1 se observa que las existencias en el nivel 1 varían de entre 135.300 y 138.900 unidades, pero con PSN disminuyen a valores de entre 124.500 y 129.200 unidades. En el nivel 2 las existencias con PSV son mayores (145.500 unidades) que con PSN (135.000 unidades).

En el escenario 2 la subred 2 tiene existencias anuales que varían entre 154.500 y 170.000 unidades con PSV, pero con PSN las existencias anuales disminuyen a un valor medio de 162.000 unidades.

En el escenario 3 las existencias anuales de la subred 2 tienen un máximo de 195.267 unidades (agente 5A) con PSV. Pero con PSN las existencias anuales tienen un máximo de 187.180 unidades (agente 2A), es decir, disminuye la cantidad de inventario.

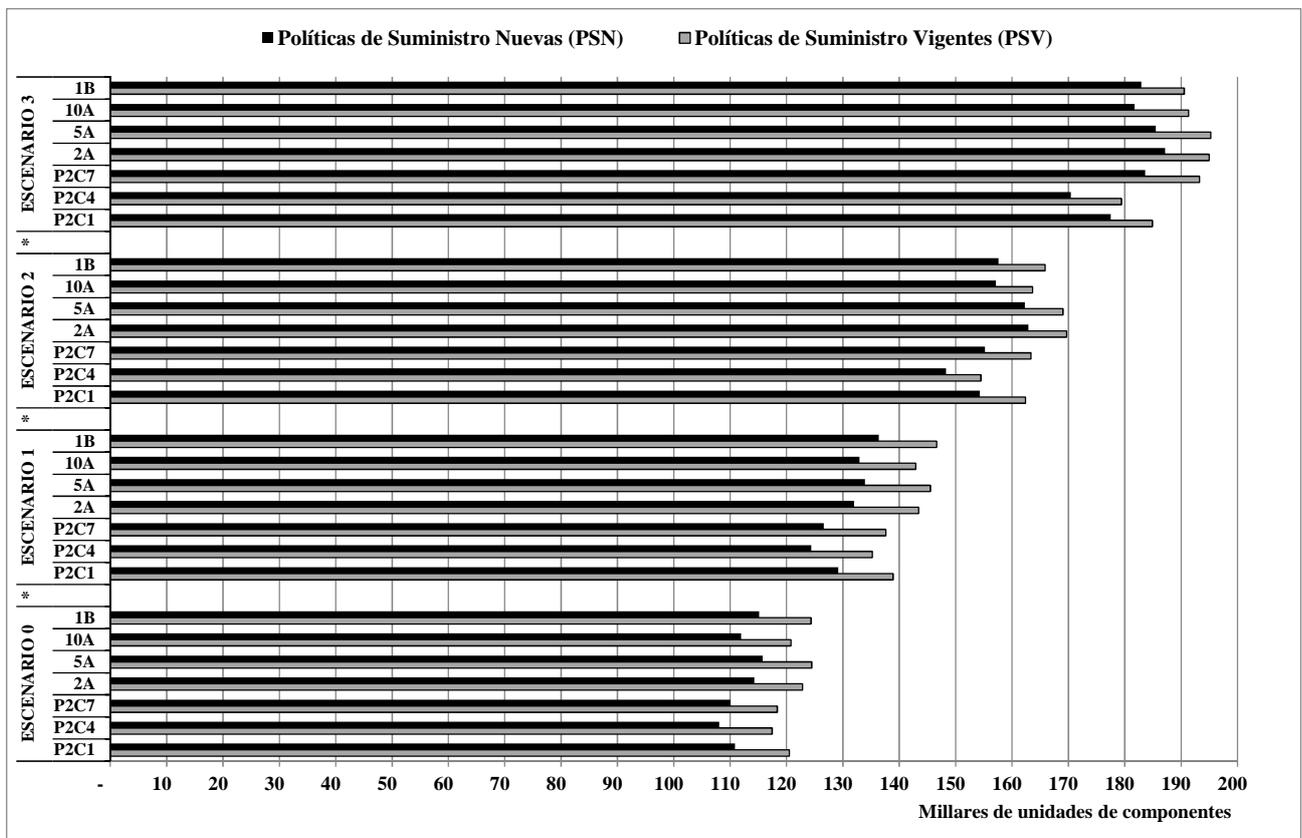


Figura 6.3. Existencias anuales (millares de unidades) de la subred 2.

El porcentaje de reducción de existencias anuales entre PSV y PSN $RVN_{(ea)}$ de la subred 2 se encuentra en la tabla 6.4. En los escenarios 0 y 1 el mínimo $RVN_{(ea)}$ es de poco más de un 7%. En el escenario 0 el máximo $RVN_{(ea)}$ es de un 9,11% y en el escenario 1 es de un 8,43%. En los escenarios 2 y 3 el mínimo $RVN_{(ea)}$ es de poco más de un 4%. El máximo $RVN_{(ea)}$ en el escenario 2 es de un 5,73% y en el escenario 3 es de un 5.54%.

Agente	Componente	Escenario 0	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Fabricante	P2C1	8,02%	7,22%	5,10%	4,74%
	P2C4	8,03%	8,12%	4,25%	5,54%
	P2C7	7,98%	8,43%	5,73%	5,03%
2A	2A	7,10%	8,06%	4,82%	4,31%
5A	5A	7,15%	8,13%	4,12%	5,23%
10A	10A	9,05%	7,23%	4,25%	5,10%
1B	1B	9,11%	7,12%	5,03%	4,02%

Tabla 6.4. Reducción (%) de las existencias anuales entre PSV y PSN $RVN_{(ea)}$ de la subred 2.

6.2.3. Análisis de las existencias anuales de la subred 3.

Los resultados de la subred 3 (ver anexos B y C) se explican con ayuda de los códigos de los agentes de este subsistema (ver tabla 6.5). Debido a su relevancia se analiza primero el canal P3C2 (figura 6.4) y posteriormente el canal P3C4 (desglosado por escenarios en las figuras 6.5 y 6.6).

Canal	Fabricante	Proveedores					
		Nivel 1		Nivel 2		Nivel 3	
		Agente	Componente	Agente	Componente	Agente	Componente
P3C2	P3C2	12A	12A(1)	2B	2B	-	
			12A(2)	3B	3B		
			12A(3)	4B	4B		
			12A(4)	5B	5B		
P3C4	P3C4	14A	14A(1)	6B	6B(1)	1A	1A
					6B(2)	2A	2A
					6B(3)	1C	1C
			14A(2)	7B	7B	2C	2C
			14A(3)	8B	8B	-	
14A(4)	9B	9B					

Tabla 6.5. Códigos utilizados en la subred 3.

Los resultados del canal P3C2 de la subred 3 (en millares de unidades) se grafican en la figura 6.4, donde destaca lo siguiente:

En el escenario 0 el fabricante (componente P3C2) tiene existencias anuales de 128.200 unidades con PSV, pero con PSN reduce sus existencias a 120.400 unidades. El agente 12A con PSV (nivel 1) tiene existencias que varían entre 132.600 unidades (componente 12A(1)) y 139.000 unidades (componente 12A(3)). Las PSN reducen las existencias del agente 12A a valores de entre 122.400 unidades (componente 12A(4)) y 124.300 unidades (componente 12A(1)). Los agentes 2B, 3B, 4B y 5B (nivel 2) tienen existencias de alrededor de 144.000 unidades con PSV, pero con PSN disminuyen a valores de alrededor de 130.000 unidades.

En el escenario 1 el fabricante tiene existencias anuales de 149.400 unidades bajo PSV, pero bajo PSN se reducen a 137.600 unidades. El nivel 1 del canal P3C2 tiene existencias de entre 149.000 y 159.000 unidades con PSV, pero con PSN disminuyen valores de entre 142.00 y 148.000 unidades. El nivel 2 tiene existencias que rondan las 165.000 unidades con PSV, pero disminuyen con PSN a 155.000 unidades.

En el escenario 2 el fabricante disminuye sus existencias anuales de 168.300 unidades con PSV a 158.200 unidades con PSN. Las existencias anuales del agente 12A rondan las 174.500 unidades con PSV, pero con PSN disminuyen a valores de entre 163.000 y 166.000 unidades. Las existencias anuales de los agentes 2B, 3B, 4B y 5B tiene un valor medio de 183.000 unidades con PSV, pero disminuye con PSN a valores de alrededor de 172.000 unidades.

En el escenario 3 el fabricante con PSV gestiona 194.800 unidades de componentes, pero con PSN gestiona 179.400 unidades de componentes, es decir, reduce su inventario en alrededor de 15.400 unidades de componentes.

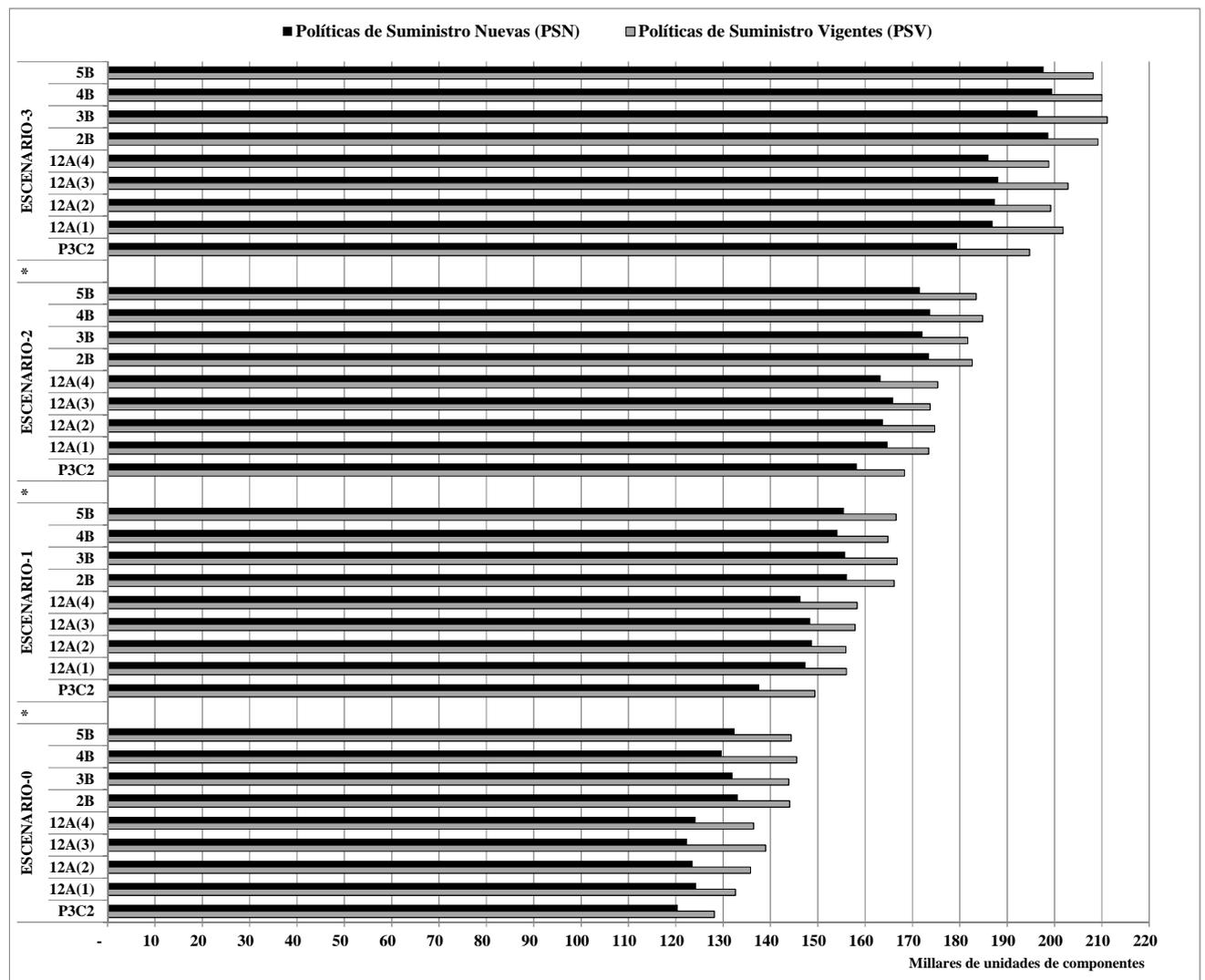


Figura 6.4. Existencias anuales (millares de unidades) del canal P3C2 de la subred 3.

En el nivel 1 del canal P3C2 las existencias anuales son de alrededor de 200.000 unidades con PSV, pero con PSN las existencias anuales no superan las 188.100 unidades. Los agentes del nivel 2 del canal P3C2 gestionan entre 208.000 y 211.200 unidades con PSV, pero con PSN gestionan menos inventario, entre 196.500 y 199.500 unidades de componentes.

Los resultados del canal P3C4 (ver figura 6.5) indican lo siguiente:

En el escenario 0 las existencias anuales del fabricante (componente P3C4) pasan de 131.500 componentes con PSV a 121.700 unidades con PSN. El agente 14A (componentes 14A(1), 14A(2), 14A(3) y 14A(4)) gestiona más inventario con PSV (en alrededor de 137.000 unidades) que con PSN (en alrededor de 127.800 unidades). Las existencias del agente 6B (componentes 6B(1), 6B(2) y 6B(3)) varían entre 141.000 y 143.500 unidades con PSV, pero con PSN sus existencias disminuyen a valores de entre 132.000 y 138.200 unidades anuales.

Las existencias anuales de los agentes 7B, 8B y 9B van de 142.000 a 145.800 unidades con PSV, pero con PSN sus existencias se reducen a valores que rondan las 137.500 unidades. Las existencias anuales de los agentes 1A, 2A, 1C y 2C varían de entre 147.000 y 150.000 unidades con PSV, pero con PSN disminuyen a niveles que van de 140.000 a 145.500 unidades.

En el escenario 1 el fabricante tiene una mayor cantidad de existencias anuales con PSV (145.500 unidades) que con PSN (138.500 unidades). El agente 14A (nivel 1) tiene una media de existencias anuales de 150.000 unidades con PSV, pero con PSN esta media disminuye a 143.000 unidades. Los agentes 6B, 7B, 8B y 9B (nivel 2) gestionan una mayor cantidad de existencias con PSV (en alrededor de 159.000 unidades) que con PSN (en alrededor de 150.000 unidades). Las existencias anuales de los agentes 1A, 2A, 1C y 2C (nivel 3) son mayores con PSV (en alrededor de 170.000 unidades) que con PSN (en alrededor de 160.000 unidades).

Los resultados de la simulación del canal P3C4 en los escenarios 2 y 3 se pueden ver en la figura 6.6.

En el escenario 2 las existencias del fabricante pasan de 168.000 unidades con PSV a 159.000 unidades con PSN. El nivel 1 del canal P3C4 tiene más inventario con PSV (170.000 unidades) que con PSN (164.000 unidades). Las existencias del nivel 2 son de alrededor de 178.000 unidades con PSV, pero con PSN las existencias rondan las 170.000 unidades. La cantidad de existencias del nivel 3 es mayor con PSV (en alrededor de 189.000 unidades) que con PSN (en alrededor de 179.000 unidades).

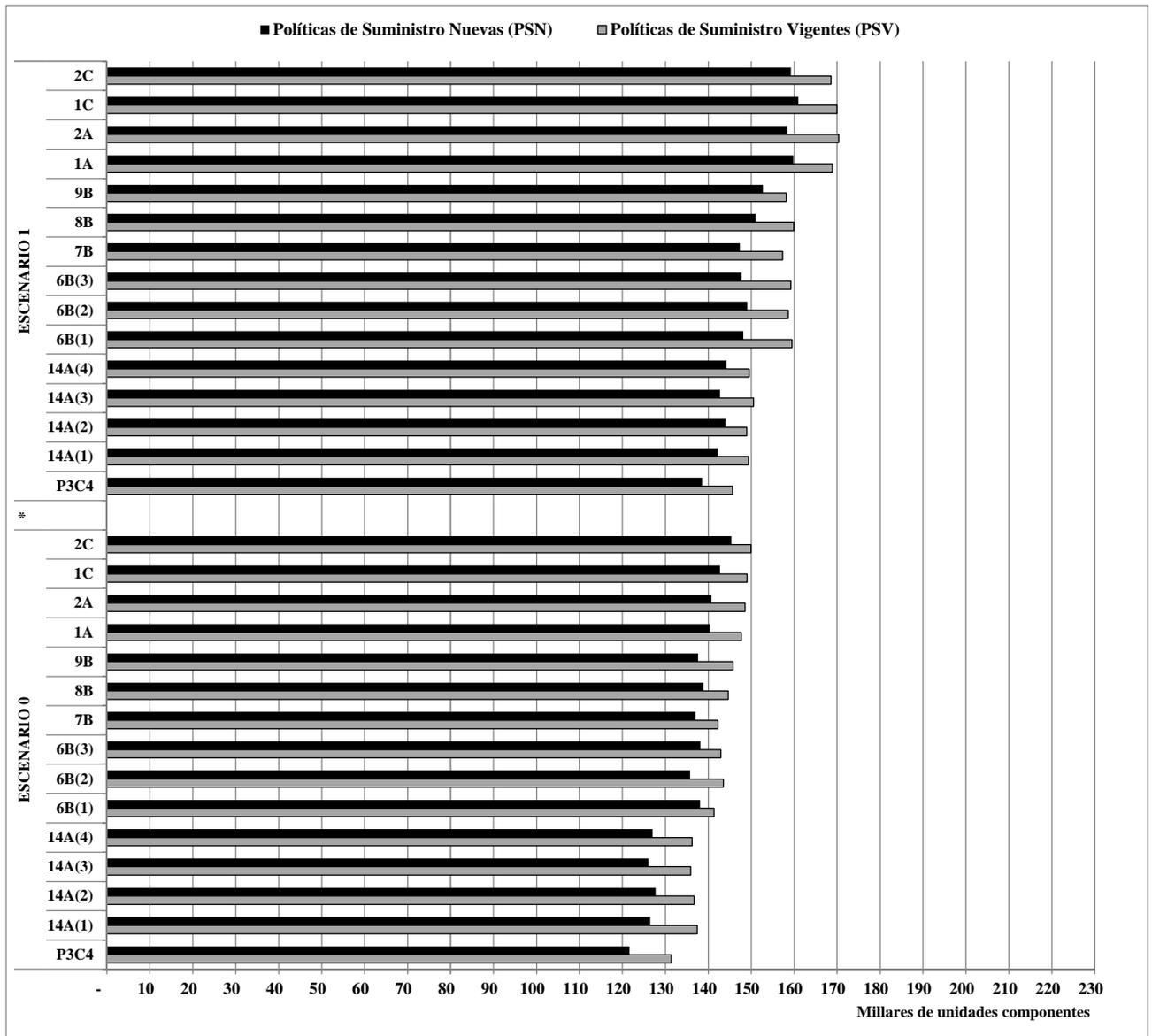


Figura 6.5. Existencias anuales (millares de unidades) del canal P3C4 de la subred 3 (escenarios 0 y 1).

En el escenario 3 el fabricante gestiona una mayor cantidad de existencias anuales con PSV (190.800 unidades) que con PSN (184.000 unidades). El agente 14A tiene un nivel medio de existencias anuales de 197.000 unidades con PSV, pero con PSN el nivel medio de existencias disminuye a 190.000 unidades.

El inventario de los agentes del nivel 2 varía de entre 207.500 y 216.800 unidades cuando operan con PSV. En cambio, cuando estos agentes operan con PSN el inventario disminuye a valores que va de 196.600 a 205.800 unidades. Los agentes del nivel 3 gestionan una mayor cantidad de existencias con PSV (de entre 217.000 y 220.000 unidades) que con PSN (de entre 206.000 y 208.000 unidades).

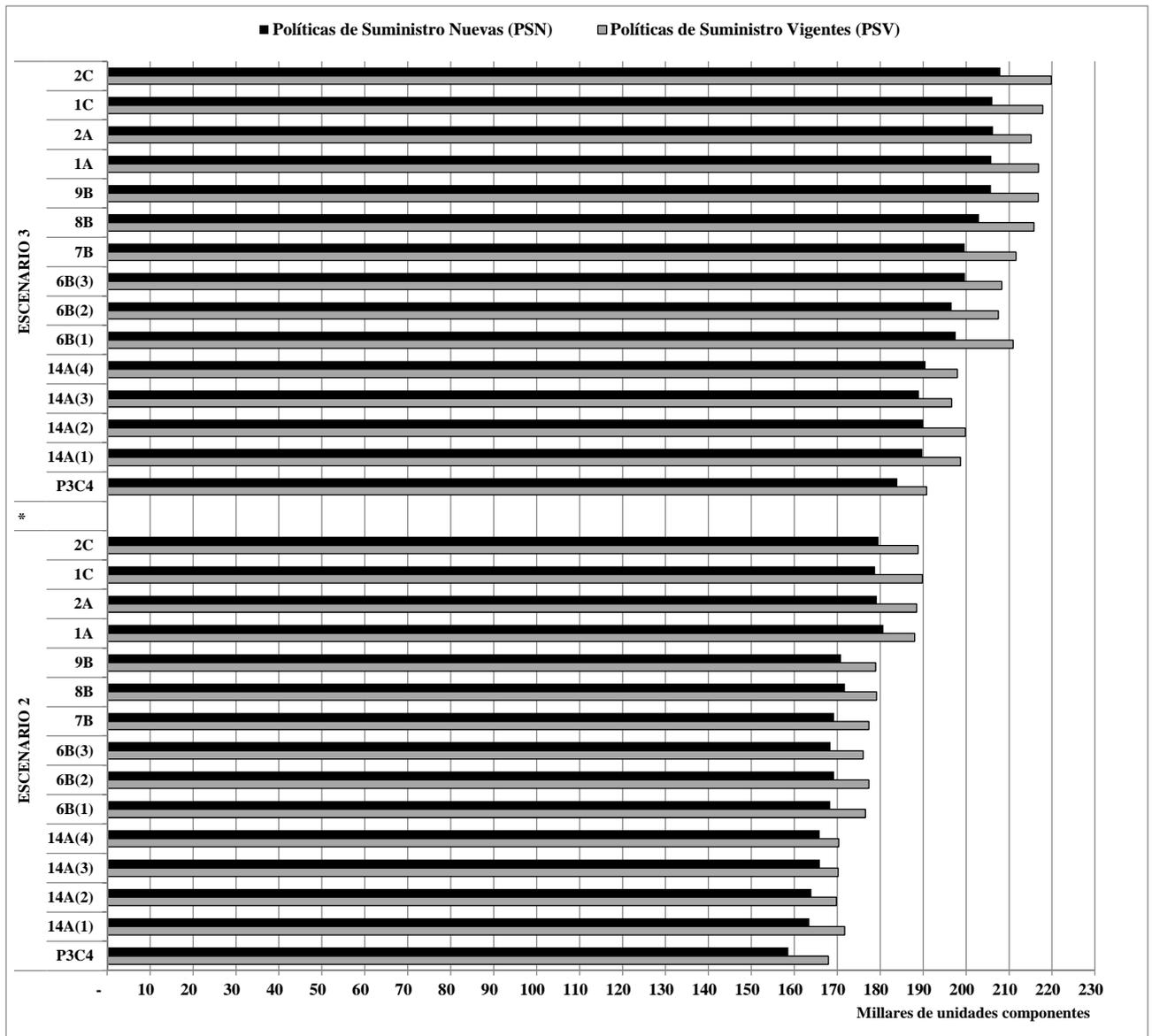


Figura 6.6. Existencias anuales (millares de unidades) del canal P3C4 de la subred 3 (escenarios 2 y 3).

El porcentaje de reducción de existencias anuales entre PSV y PSN $RVN_{(ea)}$ de la subred 3 se encuentra en la tabla 6.6. En el escenario 0 el canal P3C2 tiene un $RVN_{(ea)}$ de un 6,06% como mínimo (fabricante) y de un 11,95% como máximo (agente 12A). En el escenario 1 el $RVN_{(ea)}$ varía entre un 4,60% (agente 12A) y un 7,89% (fabricante). En el escenario 2 el $RVN_{(ea)}$ va de un 4,51% a un 6,88% (agente 12A). En el escenario 3 el $RVN_{(ea)}$ varía entre un 4,99% (agente 4A) y un 7,88% (fabricante).

El canal P3C4 tiene un $RVN_{(ea)}$ que va de un 2,31% (agente 6B) a un 7,96% (agente 14A) en el escenario 0. En el escenario 1 el mínimo $RVN_{(ea)}$ es de un 3,37% (agente 14A), pudiendo llegar a un máximo de un 7,19% (agente 6B). En el escenario 2 el $RVN_{(ea)}$ varía entre un 2,57% (agente 14A) y un 5,78% (agente 1C). En el escenario 3 el $RVN_{(ea)}$ varía entre un 3,58% (fabricante) y un 6,33% (agente 6B).

Canal	Agente	Componente	Escenario 0	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
P3C2	Fabricante	P3C2	6,06%	7,89%	6,00%	7,88%
	12A	12A(1)	6,25%	5,54%	5,11%	7,40%
		12A(2)	9,00%	4,60%	6,27%	5,91%
		12A(3)	11,95%	6,05%	4,51%	7,27%
		12A(4)	9,02%	7,53%	6,88%	6,39%
	2B	2B	7,61%	6,10%	5,23%	5,08%
	3B	3B	8,25%	6,62%	5,28%	6,95%
	4B	4B	10,88%	6,50%	6,06%	4,99%
5B	5B	8,29%	6,62%	6,48%	5,14%	
P3C4	Fabricante	P3C4	7,41%	4,85%	5,57%	3,58%
	14A	14A(1)	7,96%	4,81%	4,78%	4,46%
		14A(2)	6,51%	3,37%	3,46%	4,89%
		14A(3)	7,22%	5,19%	2,48%	3,86%
		14A(4)	6,75%	3,51%	2,57%	3,75%
	6B	6B(1)	2,31%	7,09%	4,65%	6,33%
		6B(2)	5,39%	6,05%	4,54%	5,25%
		6B(3)	3,32%	7,19%	4,35%	4,11%
	7B	7B	3,71%	6,29%	4,53%	5,64%
	8B	8B	4,01%	5,57%	4,09%	5,90%
	9B	9B	5,61%	3,44%	4,53%	5,07%
	1A	1A	4,98%	5,36%	3,85%	5,08%
	2A	2A	5,28%	7,04%	4,92%	4,16%
	1C	1C	4,22%	5,33%	5,78%	5,38%
2C	2C	3,08%	5,52%	4,87%	5,41%	

Tabla 6.6. Reducción (%) de las existencias anuales entre PSV y PSN $RVN_{(ea)}$ de la subred 3.

6.3. Inventario medio y máximo a lo largo de la Cadena de Suministro.

6.3.1. Análisis del inventario medio y máximo de la subred 1.

Los resultados de la simulación (ver anexos B y C) se grafican en la figura 6.7. De estos resultados destaca lo siguiente:

En el escenario 0 el fabricante (componentes P1C3, P1C4 y P1C7) con Políticas de Suministro Vigentes (PSV) tiene un inventario medio (PSV-MEDIO) de alrededor de 3.700 unidades, pero con Políticas de Suministro Nuevas (PSN) su inventario medio (PSN-MEDIO) se reduce a valores cercanos a 2.600 unidades. El fabricante tiene un inventario máximo con PSV de 5.500 unidades (PSV-MÁXIMO), pero con PSN su inventario máximo disminuye a 3.700 unidades (PSN-MÁXIMO).

Los agentes 3A, 4A y 10A (nivel 1) tienen un PSV-MEDIO (5.600 unidades) y un PSV-MÁXIMO (6.900 unidades) mayor que un PSN-MEDIO (4.600 unidades) y un PSN-MÁXIMO (4.900 unidades). El agente 1B (nivel 2) tiene un PSV-MEDIO de 6.400 unidades y un PSV-MÁXIMO de 7.400 unidades, pero con las nuevas políticas disminuye su inventario a un PSN-MEDIO de 5.300 unidades y a un PSN-MÁXIMO de 6.000 unidades.

En el escenario 1 el fabricante tiene un PSV-MEDIO de 4.700 unidades y un PSV-MÁXIMO de 5.700 unidades, pero con las políticas nuevas el inventario disminuye a un PSN-MEDIO de 3.400 unidades y a un PSN-MÁXIMO de 4.000 unidades. Los agentes del nivel 1 tienen un PSV-MEDIO de 6.000 unidades y un PSV-MÁXIMO de 7.000 unidades, pero con las nuevas políticas el inventario disminuye a un PSN-MEDIO de 5.200 unidades y a un PSN-MÁXIMO de 6.200 unidades. En el nivel 2 la cantidad de inventario PSV-MEDIO (7.100 unidades) y PSV-MÁXIMO (8.300 unidades) es mayor que PSN-MEDIO (5.800 unidades) y PSN-MÁXIMO (6.700 unidades).

En el escenario 2 la subred 1 tiene un PSV-MEDIO de entre 5.200 y 6.900 unidades y un PSV-MÁXIMO de 8.300 unidades. Con las nuevas políticas la subred 1 tiene un PSN-MEDIO de entre 3.300 y 5.900 unidades y un PSN-MÁXIMO de entre 4.400 y 6.700 unidades, es decir, el subsistema tiene menos inventario con las PSN.

En el escenario 3 con PSV la subred 1 tiene un inventario medio de 7.300 unidades con un máximo que alcanza las 9.200 unidades. Con PSN la subred 1 reduce su inventario medio a valores que rondan las 7.200 unidades con un máximo de alrededor de 7.900 unidades.

El porcentaje de reducción de inventario medio entre PSV y PSN $RVN_{(Inv-medio)}$ e inventario máximo entre PSV y PSN $RVN_{(Inv-máximo)}$ para la subred 1 se encuentran en la tabla 6.7. El fabricante tiene el mayor $RVN_{(Inv-medio)}$ (de entre un 23,60% y un 32,36%) y el mayor $RVN_{(Inv-máximo)}$ (de entre un 32,69% y un 38,27%) en los cuatro escenarios simulados. El mínimo $RVN_{(Inv-medio)}$ va de un 9,45% (agente 10A, escenario 3) a un 15,98% (agente 3A, escenario 1). El mínimo $RVN_{(Inv-máximo)}$ va de un 10,68% (agente 3A, escenario 3) a un 17,81% (agente 4A, escenario 0).

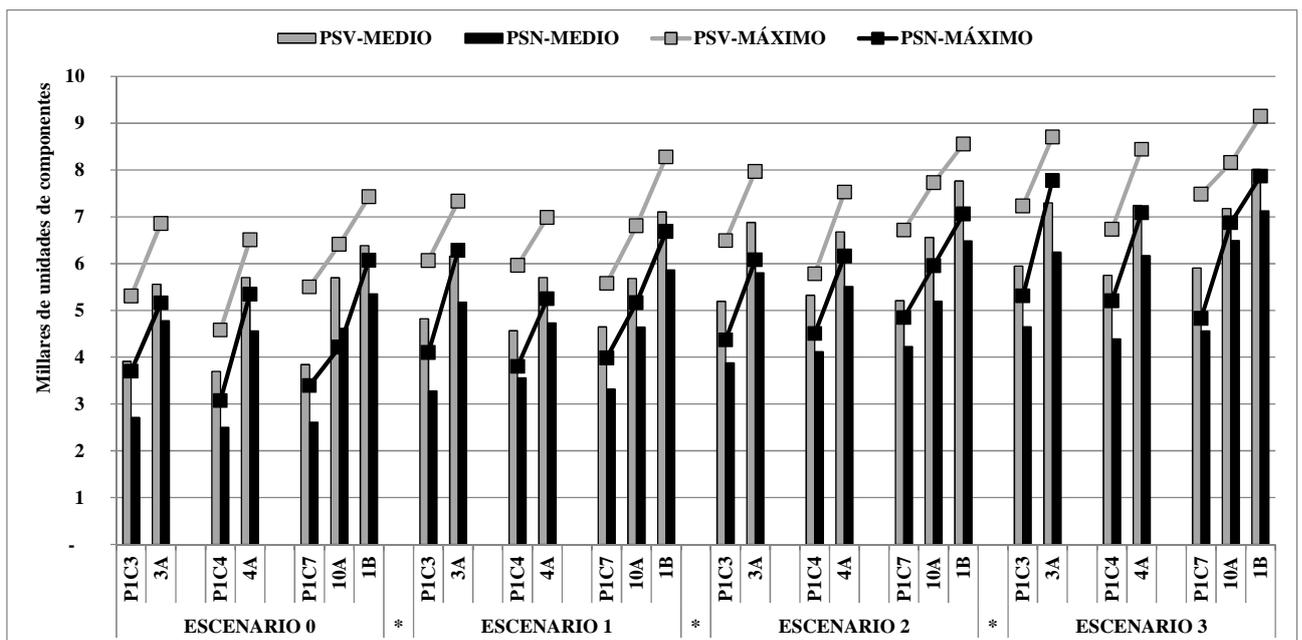


Figura 6.7. Inventario medio y máximo (millares de unidades) de la subred 1.

Agente	Componente	Escenario 0		Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
		Inv _{medio}	Inv _{máximo}						
Fabricante	P1C3	30,64%	30,25%	31,97%	32,43%	25,26%	32,69%	21,85%	26,56%
	P1C4	32,36%	32,89%	22,03%	36,24%	22,58%	22,09%	23,60%	22,64%
	P1C7	31,97%	38,27%	28,61%	28,52%	18,85%	27,85%	22,77%	35,48%
3A	3A	14,03%	24,73%	15,98%	14,34%	15,64%	23,71%	14,48%	10,68%
4A	4A	20,05%	17,81%	16,96%	24,87%	17,56%	18,12%	14,75%	16,06%
10A	10A	18,96%	34,21%	18,29%	24,16%	20,81%	22,93%	9,45%	15,78%
1B	1B	16,13%	18,27%	17,47%	19,21%	16,52%	17,47%	11,00%	14,00%

Tabla 6.7. Reducción (%) de inventario medio entre PSV y PSN $RVN_{(Inv-medio)}$ e inventario máximo entre PSV y PSN $RVN_{(Inv-máximo)}$ para la subred 1.

6.3.2. Análisis del inventario medio y máximo de la subred 2.

Los resultados de la subred 2 (ver anexos B y C) se grafican en la figura 6.8 y se comentan a continuación:

En el escenario 0 el fabricante (componentes P2C1, P2C4 y P2C7) tiene un PSV-MEDIO de alrededor de 4.200 unidades y un PSV-MÁXIMO que ronda las 5.350 unidades. Con las nuevas políticas el fabricante tiene un PSN-MEDIO de alrededor de 2.700 unidades y un PSN-MÁXIMO de 3.300 unidades. Los agentes 2A, 5A y 10A (nivel 1) tienen un PSV-MEDIO de 5.700 unidades y un PSV-MÁXIMO de 6.700 unidades. Estos agentes reducen su inventario a un PSN-MEDIO de 4.100 unidades y a un PSN-MÁXIMO de 4.800 unidades. El agente 1B (nivel 2) pasa de un PSV-MEDIO de 5.300 unidades y un PSV-MÁXIMO de 7.050 unidades a un PSN-MEDIO de 4.500 unidades y un PSN-MÁXIMO de 4.800 unidades.

En el escenario 1 el fabricante pasa de un PSV-MEDIO de 4.500 unidades a un PSN-MEDIO de 3.700 unidades y de un PSV-MÁXIMO de 6.500 unidades a un PSN-MÁXIMO de 4.000 unidades. Los agentes de los niveles 1 y 2 tienen un PSV-MEDIO que varía entre 5.700 y 6.800 unidades y un PSV-MÁXIMO de 7.900 unidades. Estos agentes reducen su inventario a un PSN-MEDIO de entre 4.000 y 5.300 unidades y a un PSN-MÁXIMO de 6.000 unidades.

En el escenario 2 el fabricante tiene un PSV-MEDIO de entre 4.300 y 4.800 unidades y un PSV-MÁXIMO de 6.000 unidades. El fabricante reduce su inventario a un PSN-MEDIO de entre 2.900 a 3.200 unidades y a un PSN-MÁXIMO de 3.700 unidades. Los agentes del nivel 1 pasan de un PSV-MEDIO de entre 5.000 a 6.100 unidades a un PSN-MEDIO de entre 3.500 y 4.600 unidades. El inventario del nivel 1 es mayor con PSV-MÁXIMO (de entre 6.500 y 7.000 unidades) que con PSN-MÁXIMO (de entre 4.100 y 5.000 unidades). En el nivel 2 es mayor el PSV-MEDIO (6.300 unidades) que el PSN-MEDIO (4.200 unidades), como ocurre también con el PSV-MÁXIMO (7.500 unidades) y el PSN-MÁXIMO (5.000 unidades).

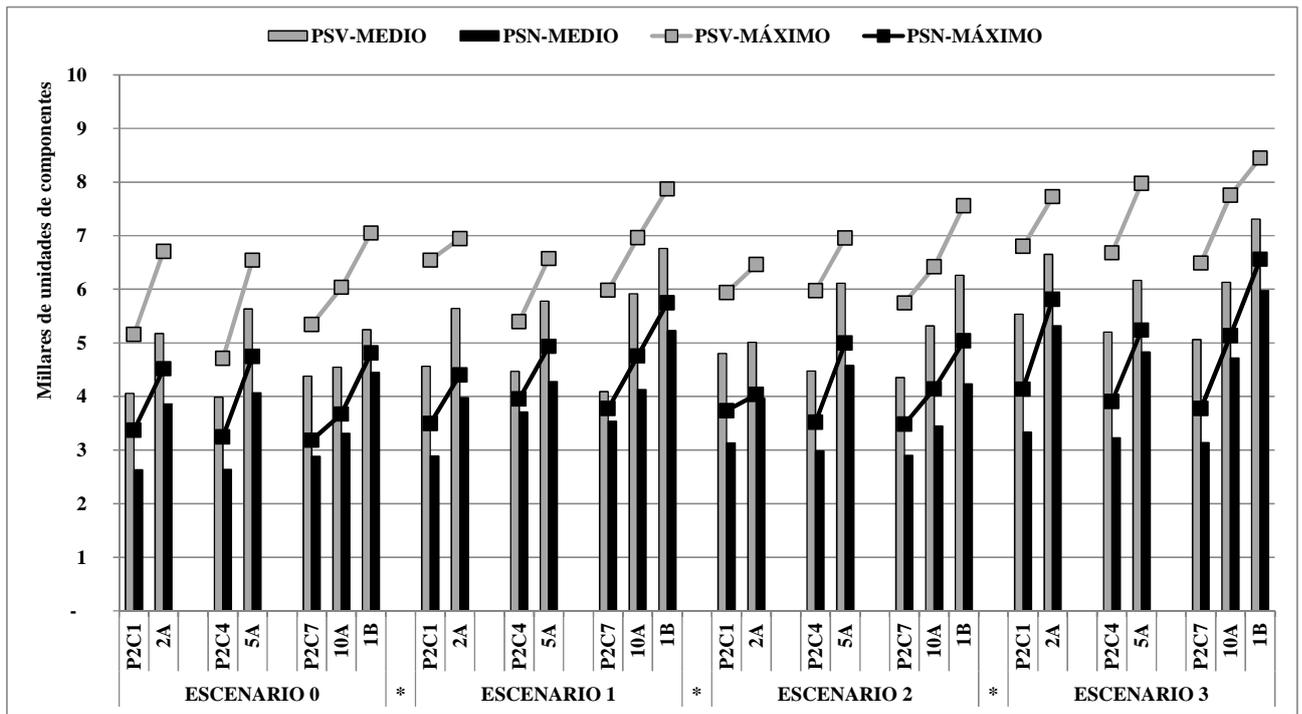


Figura 6.8. Inventario medio y máximo (millares de unidades) de la subred 2.

En el escenario 3 la subred 2 tiene un PSV-MEDIO que varía entre 5.000 y 7.300 unidades y un PSV-MÁXIMO de entre 6.500 y 8.500 unidades (ver figura 6.8). Las nuevas políticas reducen el inventario de la subred 2 a un PSN-MEDIO de entre 3.200 y 6.000 unidades y a un PSN-MÁXIMO de entre 3.700 y 6.500 unidades.

El porcentaje de reducción de inventario medio entre PSV y PSN $RVN_{(Inv-medio)}$ e inventario máximo entre PSV y PSN $RVN_{(Inv-máximo)}$ para la subred 2 se encuentran en la tabla 6.8. El mayor $RVN_{(Inv-medio)}$ lo tiene fabricante en los escenarios 0, 1 y 3 (de alrededor de un 37%) y el agente 10A en el escenario 2 (de un 35,06%). El fabricante tiene el mayor $RVN_{(Inv-máximo)}$ en los cuatro escenarios del estudio (de un 43% de media). El menor $RVN_{(Inv-medio)}$ varía de un 13,44% (fabricante, escenario 1) a un 20,92% (agente 2A, escenario 2) en los cuatro escenarios del estudio. El menor $RVN_{(Inv-máximo)}$ varía de un 22,37% (agente 1B, escenario 3) a un 28,21% (agente 5A, escenario 2).

Agente	Componente	Escenario 0		Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
		Inv_medio	Inv_máximo	Inv_medio	Inv_máximo	Inv_medio	Inv_máximo	Inv_medio	Inv_máximo
Fabricante	P2C1	35,86%	34,64%	36,71%	46,57%	34,64%	37,11%	39,76%	39,15%
	P2C4	33,77%	31,03%	17,02%	26,79%	33,33%	41,07%	37,41%	41,52%
	P2C7	34,10%	40,37%	13,44%	36,89%	32,09%	39,39%	37,89%	41,86%
2A	2A	25,42%	32,63%	29,54%	36,60%	20,92%	37,50%	19,97%	24,81%
5A	5A	27,78%	27,47%	25,96%	24,96%	25,08%	28,21%	21,67%	34,34%
10A	10A	27,17%	39,15%	30,17%	31,67%	35,06%	35,48%	23,11%	33,78%
1B	1B	15,15%	31,74%	22,70%	26,98%	32,43%	33,38%	18,21%	22,37%

Tabla 6.8. Reducción (%) de inventario medio entre PSV y PSN $RVN_{(Inv-medio)}$ e inventario máximo entre PSV y PSN $RVN_{(Inv-máximo)}$ para la subred 2.

6.3.3. Análisis del inventario medio y máximo de la subred 3.

Dada la complejidad de la subred 3 se analizan los resultados (ver anexos B y C) como sigue: primero se examina el canal P3C2 desglosado en los escenarios 0 y 1 (figura 6.9) y en los escenarios 2 y 3 (figura 6.10). Posteriormente se realiza el análisis del canal P3C4, igualmente desglosado en los escenarios 0 y 1 (figura 6.11) y en los escenarios 2 y 3 (figura 6.12).

Los resultados del canal P3C2 indican lo siguiente:

En el escenario 0 el fabricante (componente P3C2) tiene un PSV-MEDIO de 3.500 unidades y un PSV-MÁXIMO de 4.700 unidades, pero con PSN su inventario disminuye a un PSN-MEDIO de 2.200 unidades y a un PSN-MÁXIMO a 2.750 unidades. En el nivel 1 el agente 12A (componentes 12A(1), 12A(2), 12A(3) y 12A(4)) tiene un PSV-MEDIO de entre 3.600 y 4.200 unidades y un PSV-MÁXIMO de alrededor de 5.200 unidades. El agente 12A reduce su inventario a un PSN-MEDIO de entre 2.200 y 2.800 unidades y reduce también su PSN-MÁXIMO a valores de alrededor de 3.000 unidades. En el nivel 2 los agentes 2B, 3B, 4B y 5B tiene un PSV-MEDIO que va de 4.000 a 4.600 unidades y un PSV-MÁXIMO de alrededor de 5.600 unidades, pero con las políticas nuevas disminuye el PSN-MEDIO a valores de entre 2.400 y 3.300 unidades, y también disminuye el PSN-MÁXIMO valores de entre 3.000 y 3.800 unidades.

En el escenario 1 el nivel 1 tiene más inventario con PSV-MEDIO (entre 4.000 y 4.900 unidades) que con PSN-MEDIO (entre 2.800 y 3.800 unidades). Esto mismo sucede con el inventario PSV-MÁXIMO (6.200 unidades) y el inventario PSN-MÁXIMO (4.300 unidades). En el nivel 2 el inventario PSV-MEDIO (de alrededor de 5.000 unidades) y PSV-MÁXIMO (de alrededor de 6.300 unidades) es mayor que el inventario PSN-MEDIO (de alrededor de 3.500 unidades) y PSN-MÁXIMO (de alrededor de 4.300 unidades).

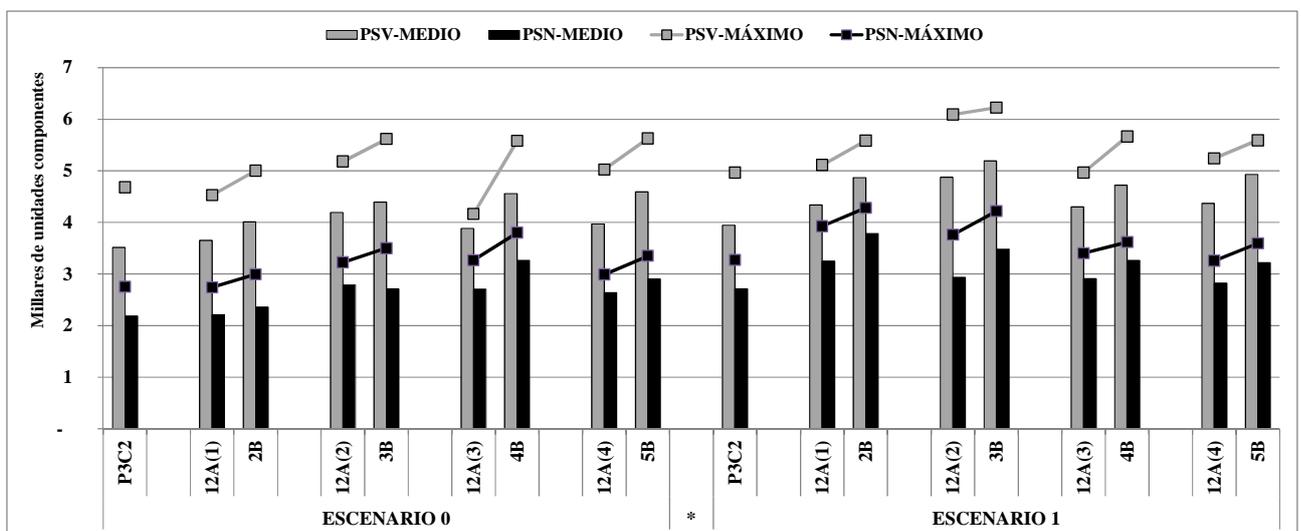


Figura 6.9. Inventario medio y máximo (millares de unidades) del canal P3C2 de la subred 3 (escenarios 0 y 1).

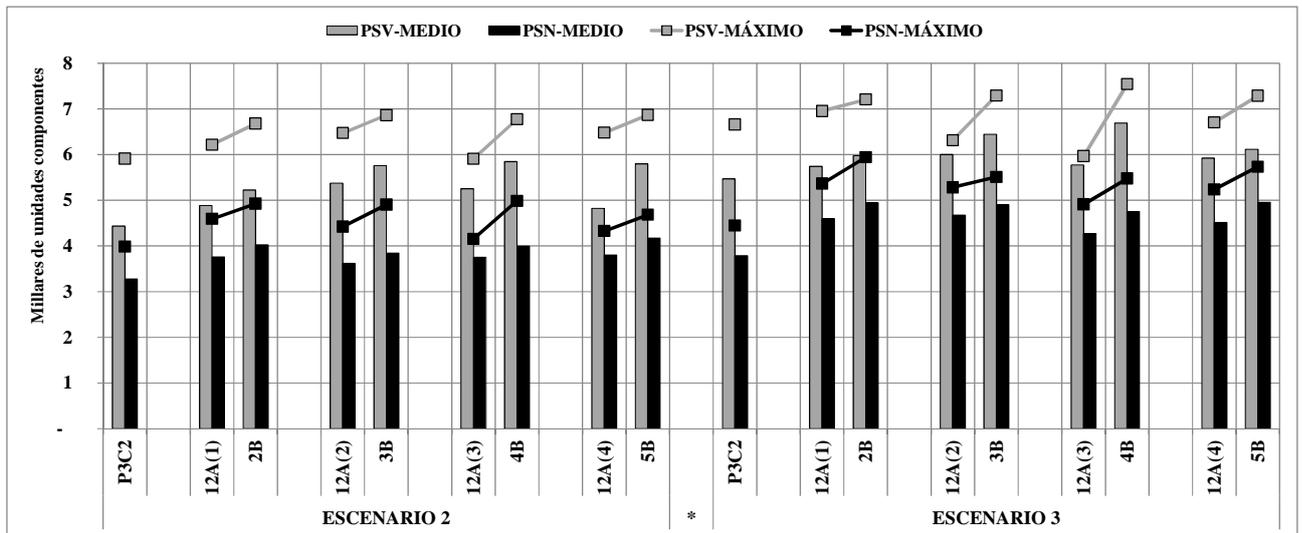


Figura 6.10. Inventario medio y máximo (millares de unidades) del canal P3C2 de la subred 3 (escenarios 2 y 3).

En el escenario 2 con PSV el nivel 1 del canal P3C2 tiene un inventario medio que varía entre 4.500 y 5.900 unidades y un inventario máximo de 6.800 unidades (ver figura 6.10). Con PSN el nivel 1 tiene menos inventario medio (de entre 3.200 y 4.100 unidades) y también tiene menos inventario máximo (de entre 4.000 y 5.000 unidades). El nivel 2 con PSV tiene más inventario medio (de alrededor de 5.500 unidades) que con PSN (de alrededor de 4.000 unidades). El inventario máximo del nivel 2 pasa de 6.700 unidades con PSV a 5.000 unidades con PSN.

En el escenario 3 con PSV el nivel 1 del canal P3C2 tiene un inventario medio que ronda las 5.300 unidades y un inventario máximo de 7.000 unidades (ver figura 6.10). El nivel 1 con PSN tiene menos inventario medio (de alrededor de 4.300 unidades) y menos inventario máximo (de alrededor de 5.400 unidades). El nivel 2 con PSV tiene un inventario medio de 6.700 unidades con un máximo de 7.600 unidades, pero con PSN el inventario medio disminuye a 5.000 unidades y su máximo no supera las 6.000 unidades.

Los resultados del canal P3C4 se grafican en la figura 6.11 (escenarios 0 y 1) y en la figura 6.12 (escenarios 2 y 3). De los resultados destaca lo siguiente:

En el escenario 0 el fabricante (componente P3C4) y el agente 14A (componentes 14A(1), 14A(2), 14A(3) y 14A(4)) tienen un inventario medio con PSV (PSV-MEDIO) que varía entre 3.000 y 3.750 unidades. Las políticas nuevas reducen el inventario medio (PSN-MEDIO) del fabricante y del agente 14A (nivel 1) a valores de alrededor de 2.800 unidades. El inventario máximo con PSV (PSV-MÁXIMO) del fabricante es de 4.000 unidades y del agente 14A es de 6.000 unidades. Las PSN reducen su inventario máximo (PSN-MAXIMO) del fabricante y el agente 14A valores de entre 3.000 y 3.800 unidades.

En el escenario 0 el agente 6B (componentes 6B(1), 6B(2) y 6B(3)) y los agentes 7B, 8B y 9B (nivel 2) tienen un PSV-MEDIO que varía entre 4.700 y 5.600 unidades y un PSV-MÁXIMO que ronda las 8.000 unidades (figura 6.11). Las PSN reducen el inventario de los agentes del nivel 2: el PSN-MEDIO varía entre 3.400 y 3.700 unidades y el PSN-MÁXIMO es de alrededor de 4.700 unidades. Los agentes 1A, 2A, 1C y 2C (nivel 3) tienen más inventario PSV-MEDIO (de alrededor de 6.700 unidades) que PSN-MEDIO (de alrededor de 5.000 unidades). Los agentes 1A, 2A y 2C tienen más inventario PSV-MÁXIMO (de entre 9.500 a 9.800 unidades) que PSN-MAXIMO (de entre 7.000 y 7.200 unidades). El agente 1C tiene un mayor PSV-MÁXIMO (8.360 unidades) que un PSN-MAXIMO (6.200 unidades).

En el escenario 1 los agentes del nivel 1 tienen un PSV-MEDIO de 3.500 a 6.200 unidades y un PSV-MÁXIMO de 8.000 unidades (ver figura 6.11). El inventario en el nivel 1 es menor con PSN: el inventario medio va de 3.000 a 5.000 unidades y el inventario máximo apenas supera las 6.800 unidades. Los agentes del nivel 2 tienen un PSV-MEDIO que varía entre 6.000 y 8.800 unidades y un PSV-MÁXIMO que llega hasta las 10.500 unidades. El nivel 2 con PSN tiene un inventario mucho menor: un PSN-MEDIO de entre 4.000 y 6.500 unidades y un PSN-MÁXIMO que no supera las 8.400 unidades. Los agentes del nivel 3 tienen un PSV-MEDIO que varía entre 7.800 y 8.000 unidades y un PSV-MÁXIMO cercano a 11.000 unidades. Los agentes del nivel 3 con PSN reducen su inventario: el PSN-MEDIO varía entre 5.000 y 6.900 unidades y el PSN-MÁXIMO ronda las 8.000 unidades.

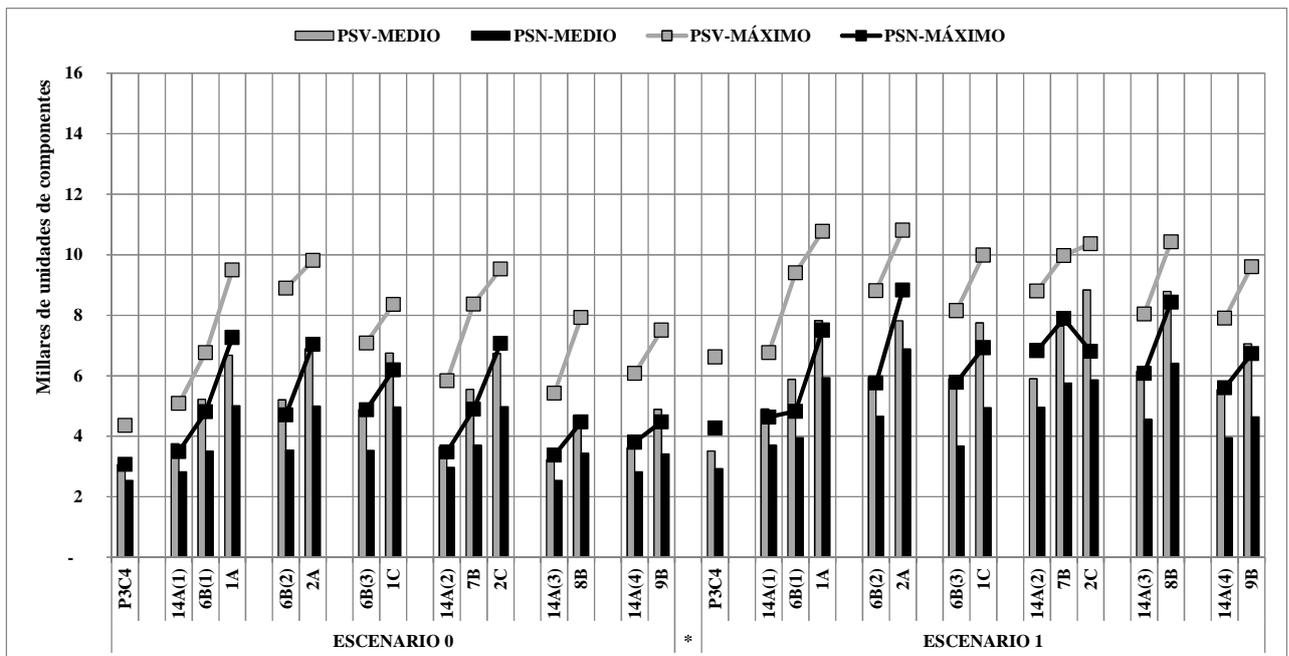


Figura 6.11. Inventario medio y máximo (millares de unidades) del canal P3C4 (escenarios 0 y 1).

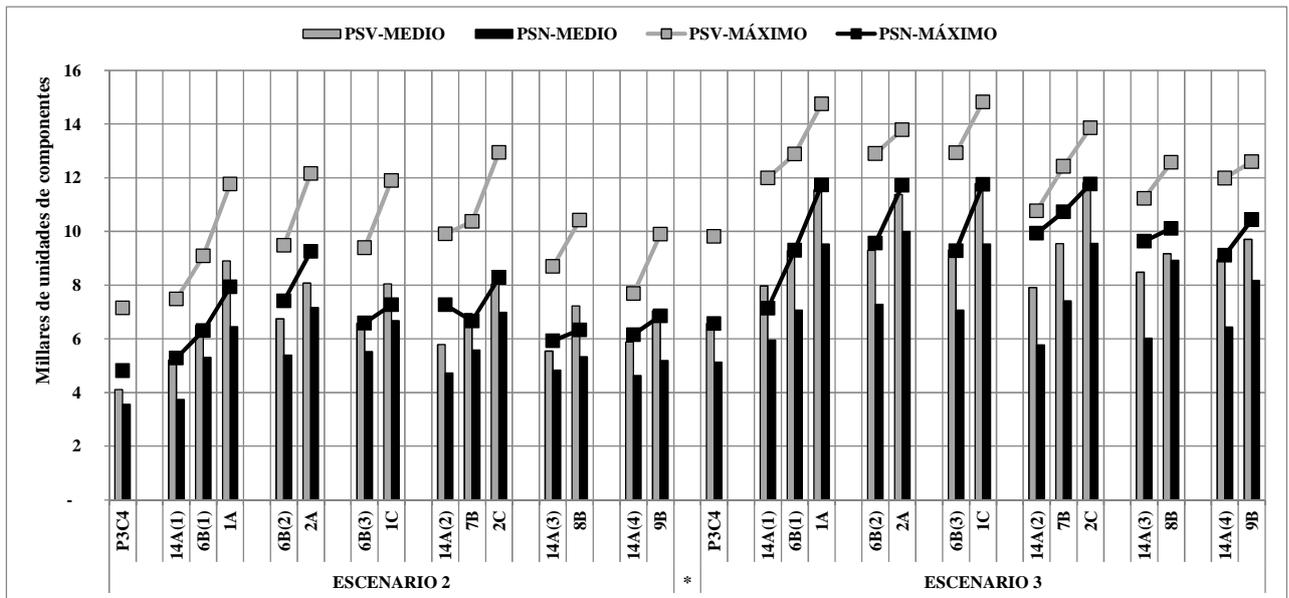


Figura 6.12. Inventario medio y máximo (millares de unidades) del canal P3C4 (escenarios 2 y 3).

En el escenario 2 el fabricante tiene más inventario PSV-MEDIO (de alrededor de 4.100 unidades) que PSN-MEDIO (de alrededor de 3.600 unidades) (ver figura 6.12). Lo mismo ocurre con su inventario PSV-MÁXIMO (que ronda las 7.200 unidades) y PSN-MAXIMO (de alrededor de 4.800 unidades). El agente 14A tiene más inventario PSV-MEDIO (de entre 5.200 y 5.900 unidades) y PSV-MÁXIMO (cercano a 9.900 unidades) que inventario PSN-MEDIO (de entre 3.800 y 4.900 unidades) y PSN-MAXIMO (cercano a 7.300 unidades). Los agentes del nivel 2 (agentes 6B, 7B, 8B y 9B) tienen más inventario PSV-MEDIO (de entre 6.500 y 7.300 unidades) y PSV-MÁXIMO (de alrededor de 10.500 unidades) que inventario PSN-MEDIO (de alrededor de 5.500 unidades) y PSN-MÁXIMO (de entre 6.400 y 7.400 unidades). Los agentes del nivel 3 (agentes 1A, 2A, 1C y 2C) tienen un PSV-MEDIO que va de 8.000 a 9.000 unidades y un PSV-MÁXIMO de, al menos, 11.800 unidades que puede llegar hasta 13.000 unidades. Las PSN reducen el inventario del nivel 3 a un PSN-MEDIO de entre 6.500 y 7.200 unidades y a un PSN-MAXIMO de entre 7.300 y 9.200 unidades.

En el escenario 3 los agentes del nivel 1 tienen más inventario PSV-MEDIO (de entre 6.500 y 9.000 unidades) que inventario PSN-MEDIO (de entre 5.200 y 6.500 unidades) (ver figura 6.12). El nivel 1 tiene más inventario PSV-MÁXIMO (de entre 9.800 y 12.000 unidades) que inventario PSN-MAXIMO (de entre 6.500 y 10.000 unidades). El nivel 2 tiene mayor cantidad de inventario PSV-MEDIO (de alrededor de 9.300 unidades) que PSN-MEDIO (de entre 7.000 y 9.000 unidades). Esto mismo sucede con su inventario PSV-MÁXIMO (de alrededor de 12.700 unidades) y su inventario PSN-MAXIMO (que ronda las 10.000 unidades). Los agentes del nivel 3 tienen más inventario PSV-MEDIO (de alrededor de 11.500 unidades) y PSV-MÁXIMO (cercano a 14.900 unidades) que inventario PSN-MEDIO (de alrededor de 9.700 unidades) y PSN-MAXIMO (cercano a 11.700 unidades).

El porcentaje de reducción de inventario medio entre PSV y PSN $RVN_{(Inv-medio)}$ e inventario máximo entre PSN y PSV $RVN_{(Inv-máximo)}$ para la subred 3 se encuentran en la tabla 6.9. En el canal P3C2 se observa que el mayor $RVN_{(Inv-medio)}$ va de un 30,72% (fabricante, escenario 3) a un 41,18% (agente 2B, escenario 0). El menor $RVN_{(Inv-medio)}$ varía entre un 17,25% (agente 2B, escenario 3) y un 28,43% (agente 4B, escenario 0). En el canal P3C2 el mayor $RVN_{(Inv-máximo)}$ varía entre un 33,18% y un 39,11% (fabricante, escenarios 3 y 0), mientras que el menor $RVN_{(Inv-máximo)}$ va de un 16,30% a un 26,10% (agente 12A, escenarios 3 y 2).

En el canal P3C4 el mayor $RVN_{(Inv-medio)}$ varía entre un 28,37% (agente 14A, escenario 2) y un 37,77% (agente 6B, escenario 1) (ver tabla 6.9). El menor $RVN_{(Inv-medio)}$ va de un 11,22% (agente 2A, escenario 2) a un 17,24% (fabricante, escenario 0). En el canal P3C4 el mayor $RVN_{(Inv-máximo)}$ varía entre un 39,25% (agente 8B, escenario 2) y un 48,68% (agente 6B, escenario 1). El menor $RVN_{(Inv-máximo)}$ varía entre un 13,63% (agente 7B, escenario 3) y un 23,46% (agente 1A, escenario 0).

Canal	Agente	Componente	Escenario 0		Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
			Inv _{medio}	Inv _{máximo}						
P3C2	Fabricante	P3C2	37,89%	39,11%	31,33%	34,13%	26,07%	32,63%	30,72%	33,18%
	12A	12A(1)	39,39%	39,39%	25,08%	23,18%	22,98%	26,10%	19,97%	22,86%
		12A(2)	33,44%	37,76%	39,76%	38,27%	32,75%	31,66%	22,12%	16,30%
		12A(3)	30,31%	21,51%	32,38%	31,46%	28,57%	29,70%	26,03%	17,66%
		12A(4)	33,62%	40,48%	35,33%	37,85%	21,13%	33,22%	23,73%	21,86%
	2B	2B	41,18%	40,12%	22,25%	23,31%	23,01%	26,23%	17,25%	17,54%
	3B	3B	38,27%	37,67%	32,89%	32,22%	33,26%	28,54%	23,83%	24,46%
	4B	4B	28,43%	31,89%	30,92%	36,12%	31,71%	26,40%	28,97%	27,38%
5B	5B	36,82%	40,48%	34,74%	35,71%	28,06%	31,81%	18,98%	21,29%	
P3C4	Fabricante	P3C4	17,24%	29,48%	16,64%	35,44%	13,47%	32,59%	21,98%	33,10%
	14A	14A(1)	24,71%	31,28%	24,35%	31,38%	28,37%	29,35%	25,39%	40,48%
		14A(2)	18,62%	40,29%	16,06%	22,34%	18,40%	26,64%	26,94%	17,72%
		14A(3)	21,34%	37,81%	25,79%	24,41%	12,67%	31,85%	28,94%	14,24%
		14A(4)	21,82%	37,36%	28,57%	29,08%	21,25%	19,82%	28,09%	23,91%
	6B	6B(1)	32,80%	28,93%	32,71%	48,68%	18,19%	30,61%	23,75%	27,82%
		6B(2)	32,07%	47,10%	21,62%	34,56%	20,05%	21,76%	21,61%	25,80%
		6B(3)	27,75%	31,26%	37,77%	29,05%	15,97%	29,86%	24,09%	28,17%
	7B	7B	33,16%	41,54%	24,54%	20,89%	19,41%	35,73%	22,39%	13,63%
	8B	8B	26,47%	43,56%	27,06%	19,12%	26,27%	39,25%	12,61%	19,54%
	9B	9B	30,17%	40,42%	34,22%	29,88%	26,33%	30,74%	15,69%	17,16%
	1A	1A	25,00%	23,46%	24,22%	30,31%	27,52%	32,58%	17,54%	20,44%
	2A	2A	27,57%	28,30%	11,95%	18,29%	11,22%	23,87%	12,13%	15,03%
1C	1C	26,52%	25,86%	36,16%	30,64%	17,06%	38,96%	19,08%	20,68%	
2C	2C	26,11%	25,82%	33,62%	34,30%	13,01%	35,99%	19,11%	15,07%	

Tabla 6.9. Reducción (%) de inventario medio entre PSV y PSN $RVN_{(Inv-medio)}$ e inventario máximo entre PSV y PSN $RVN_{(Inv-máximo)}$ para la subred 3.

6.4. Medición del Efecto *Bullwhip* en la Cadena de Suministro.

6.4.1. Análisis del impacto del Efecto *Bullwhip* en la subred 1.

La intensidad del Efecto *Bullwhip* (EB) en la subred 1 se calcula con la fórmula 3.1 (ver apartado 3.4), cuyos resultados (ver anexo D) se presentan en la figura 6.13 que se comenta enseguida. Posteriormente se analiza el porcentaje de reducción del EB en la subred 1 que se calcula con la fórmula 6.1.

En el escenario 0 los agentes 3A, 4A y 10A (nivel 1) tienen un EB con una intensidad que varía entre 2,59 oscilaciones de inventario (OI) y 2,73 OI en escenarios con Políticas de Suministro Vigentes (PSV). Las Políticas de Suministro Nuevas (PSN) reducen el impacto del EB en los agentes del nivel 1 a valores de entre 1,88 OI y 2,25 OI. El impacto del EB en el agente 1B (nivel 2) es mayor con PSV (2,64 OI) que con PSN (2,07 OI).

En el escenario 1 la intensidad del EB en el nivel 1 es mayor con PSV (de entre 2,49 OI y 2,69 OI) que con PSN (de entre 1,77 OI y 2,00 OI). Esto mismo ocurre también en el nivel 2 con PSV (2,72 OI) y con PSN (2,19 OI).

En el escenario 2 el EB varía entre 2,30 OI y 2,69 OI en la subred 1 con PSV. Las PSN aminoran el EB en la subred 1 a valores de entre 1,73 y 2,11 OI.

En el escenario 3 el EB varía entre 2,37 y 2,64 OI en la subred 1 con PSV. Las PSN reducen el impacto del EB en la subred 1 a valores de entre 1,74 y 2,06 OI.

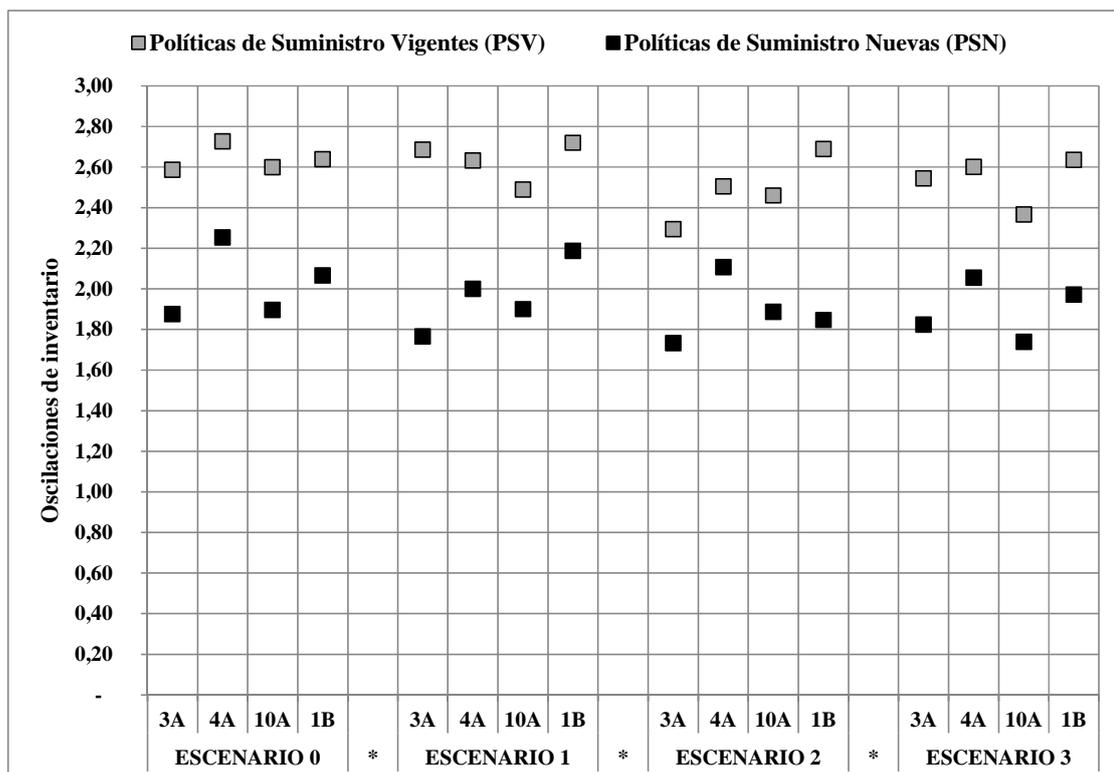


Figura 6.13. Medición del EB (oscilaciones anuales de inventario) en la subred 1.

El porcentaje de reducción del EB entre PSV y PSN $RVN_{(eb)}$ para la subred 1 se encuentra en la tabla 6.10. El mayor $RVN_{(eb)}$ varía entre un 27,46% y un 34,27% (agente 3A, escenarios 0 y 1). El menor $RVN_{(eb)}$ va de un 15,86% a un 21,01% (agente 4A, escenarios 2 y 3).

Nivel	Agente	Componente	Escenarios			
			0	1	2	3
1	3A	3A	27,46%	34,27%	24,53%	28,30%
	4A	4A	17,32%	23,97%	15,86%	21,01%
	7A	7A	27,04%	23,67%	23,37%	26,53%
2	1B	1B	21,70%	19,53%	31,33%	25,20%

Tabla 6.10. Reducción (%) del EB entre PSV y PSN $RVN_{(eb)}$ para la subred 1.

6.4.2. Análisis del impacto del Efecto Bullwhip en la subred 2.

Los resultados de la subred 2 (anexo D) se grafican en la figura 6.14 de donde destaca lo siguiente:

En el escenario 0 el EB en la subred 2 varía entre 2,42 oscilaciones de inventario (OI) y 2,83 OI con PSV, siendo menor con PSN, de entre 1,83 OI y 2,19 OI.

En el escenario 1 el EB es mayor con PSV (de entre 2,06 OI y 2,58 OI) que con PSN (de entre 1,46 OI y 1,77 OI).

En el escenario 2 el EB varía entre 2,41 OI y 2,86 OI con PSV, pero con PSN disminuye a valores de entre 1,77 OI y 2,27 OI.

En el escenario 3 el EB en la subred 2 varía de 2,57 OI a 2,86 OI con PSV. Las PSN reducen el EB en la subred 2 a valores de entre 1,83 OI y 2,21 OI.

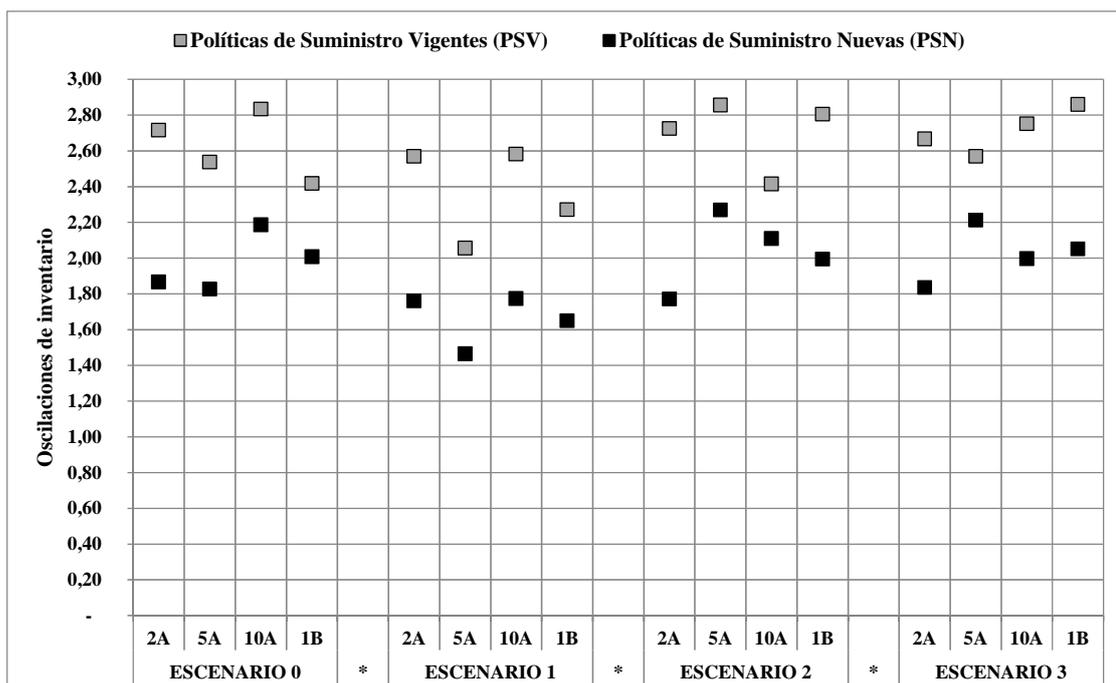


Figura 6.14. Medición del EB (oscilaciones anuales de inventario) en la subred 2.

El porcentaje de reducción del EB entre PSV y PSN $RVN_{(eb)}$ para la subred 2 se encuentra en la tabla 6.11. El mínimo $RVN_{(eb)}$ es de un 12,65% (agente 10A, escenario 2), mientras que el máximo $RVN_{(eb)}$ es de un 35,01% (agente 2A, escenario 2).

Nivel	Agente	Componente	Escenarios			
			0	1	2	3
1	2A	2A	31,27%	31,50%	35,01%	31,18%
	5A	5A	28,03%	28,74%	20,53%	13,93%
	10A	10A	22,87%	31,31%	12,65%	27,41%
2	1B	1B	16,96%	27,37%	28,91%	28,24%

Tabla 6.11. Reducción (%) del EB entre PSV y PSN $RVN_{(eb)}$ para la subred 2.

6.4.3. Análisis del impacto del Efecto Bullwhip en la subred 3.

Por su complejidad se dedica mayor atención a los resultados de la subred 3 (ver anexo D). Primero se analiza el canal P3C2 y posteriormente el canal P3C4.

En relación a los resultados del canal P3C2 destaca lo siguiente (ver figura 6.15):

En el escenario 0 el agente 12A (componentes 12A(1), 12A(2), 12A(3) y 12A(4)) tiene un impacto del EB que varía entre 2,04 OI y 2,92 OI con PSV. El agente 12A con PSN reduce el EB a valores de entre 1,48 OI y 2,15 OI. Los agentes 2B, 3B, 4B y 5B tienen un EB mayor con PSV (de entre 2,58 OI y 2,78 OI) que con PSN (de entre 1,98 OI y 2,45 OI).

En el escenario 1 el EB tiene una intensidad de 2,09 OI a 2,71 OI en el canal P3C2 con PSV. Con PSN el EB disminuye a valores de entre 1,46 OI y 1,98 OI.

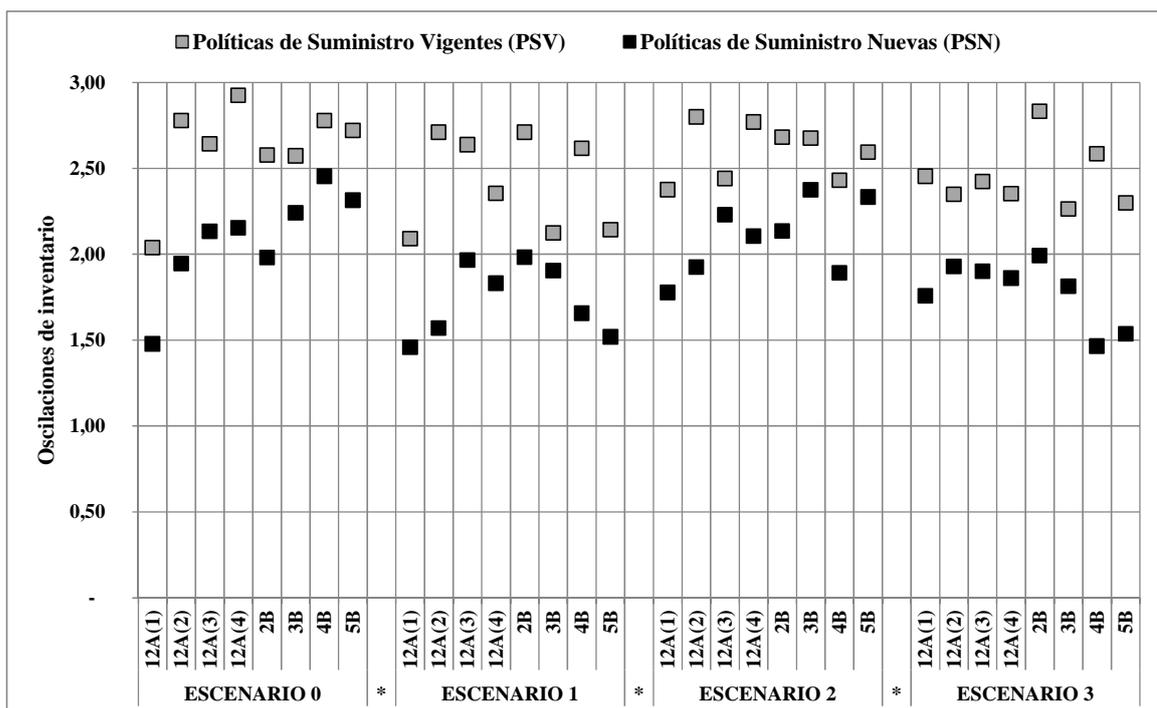


Figura 6.15. Medición del EB (oscilaciones anuales de inventario) en el canal P3C2 de la subred 3.

En el escenario 2 el EB del canal P3C2 tiene una intensidad que varía entre 2,43 OI y 2,80 OI con PSV, siendo menor con PSN, pues disminuye a valores de entre 1,78 OI y 2,33 OI.

En el escenario 3 se observa que el EB en el canal P3C2 es mayor con PSV (de entre 2,26 OI y 2,83 OI) que con PSN (de entre 1,47 OI y 1,99 OI).

A continuación se analizan los resultados correspondientes al canal P3C4 (ver figuras 6.16 y 6.17).

En el escenario 0 el agente 14A (componentes 14A(1), 14A(2), 14A(3) y 14A(4)) tiene un EB que varía entre 2,06 OI y 2,58 OI con PSV. Las PSN reducen la intensidad del EB en el agente 14A (nivel 1) a valores de entre 1,61 OI y 1,84 OI. En el nivel 2 el agente 6B (componentes (6B(1), 6B(2) y 6B(3)) tiene un EB mayor con PSV (de entre 2,01 OI y 2,43 OI) que con PSN (de entre 1,53 OI y 1,93 OI). Los agentes 7B, 8B y 9B (también del nivel 2) tienen un EB que varía entre 2,01 OI y 2,11 OI con PSV, pero con PSN disminuye a valores de entre 1,34 OI y 1,55 OI. Los agentes 1A, 2A, 1C y 2C (nivel 3) tienen un EB más elevado con PSV (de entre 2,15 OI y 2,76 OI) que con PSN (de entre 1,60 OI y 2,04 OI).

En el escenario 1 el EB en el nivel 1 es mayor con PSV (de entre 2,13 OI y 2,57 OI) que con PSN (de entre 1,70 OI y 1,86 OI). El EB en el nivel 2 con PSV varía entre 2,30 OI y 2,41 OI, pero el EB con PSN es mucho menor, entre 1,65 OI y 2,10 OI. En el nivel 3 el EB varía entre 2,58 OI y 2,87 OI con PSV, pero con PSN disminuye a valores de entre 1,94 OI y 2,13 OI.

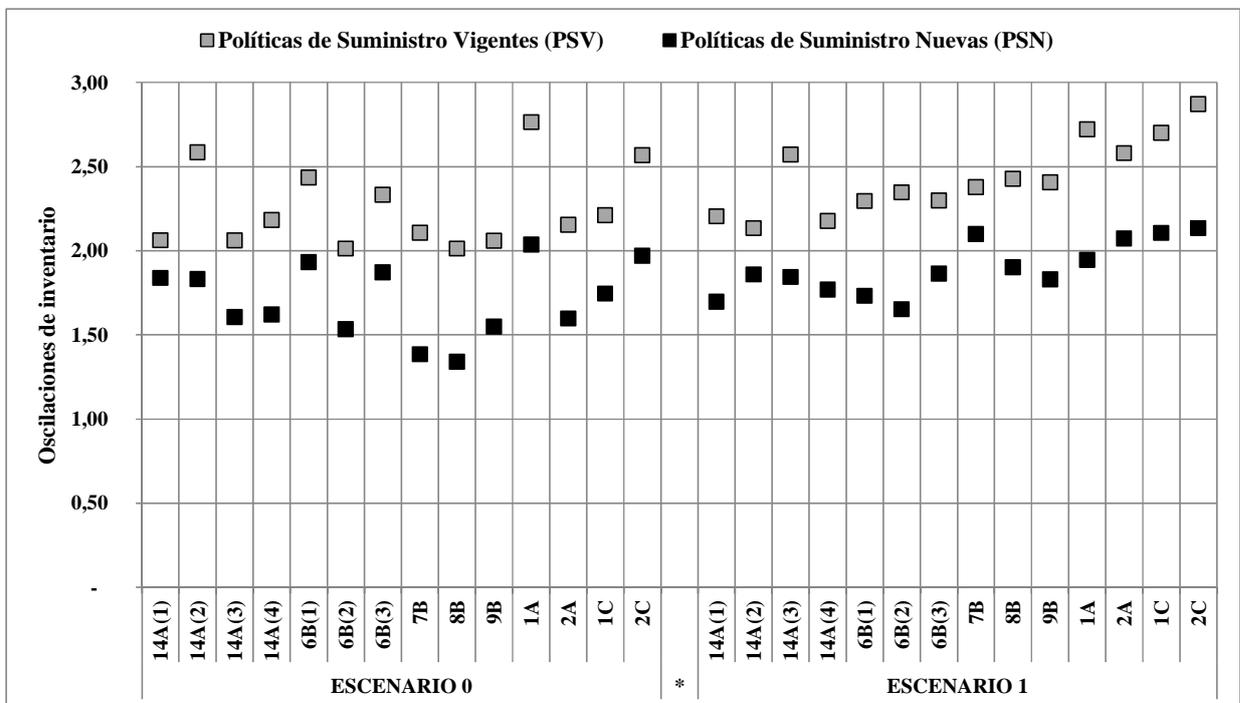


Figura 6.16. Medición del EB (oscilaciones anuales de inventario) en el canal P3C4 de la subred 3 (escenarios 0 y 1).

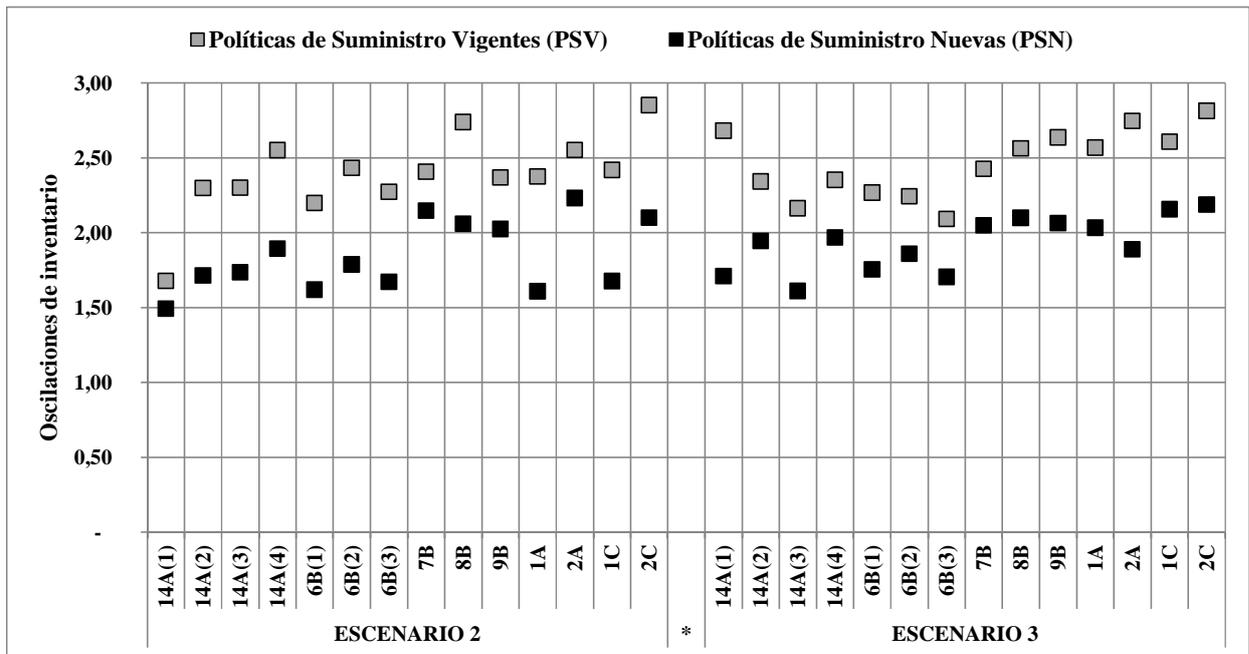


Figura 6.17. Medición del EB (oscilaciones anuales de inventario) en el canal P3C4 de la subred 3 (escenarios 2 y 3).

En el escenario 2 el EB en el nivel 1 del canal P3C4 es mayor con PSV (de entre 1,68 OI y 2,55 OI) que con PSN (de entre 1,49 OI y 1,89 OI) (ver figura 6.17). En el nivel 2 el EB es mayor con PSV (de entre 2,20 OI y 2,74 OI) que con PSN (de entre 1,62 OI y 2,15 OI), como ocurre en el nivel 3 con PSV (de entre 2,37 OI y 2,85 OI) y con PSN (de entre 1,61 OI y 2,23 OI).

En el escenario 3 en el nivel 1 del canal P3C4 el EB varía entre 2,16 OI y 2,68 OI con PSV, pero con PSN el EB varía entre 1,61 OI y 1,97 OI (ver figura 6.17). En el nivel 2 el EB es mayor con PSV (de entre 2,09 OI y 2,64 OI) que con PSN (de entre 1,70 OI y 2,10 OI). En el nivel 3 el EB alcanza su mayor intensidad con PSV (de entre 2,57 OI y 2,81 OI), pero disminuye significativamente con PSN (de entre 1,89 OI y 2,19 OI).

El porcentaje de reducción del EB entre PSV y PSN $RVN_{(eb)}$ para la subred 3 se encuentra en la tabla 6.12. En el canal P3C2 el menor $RVN_{(eb)}$ varía entre un 8,71% y un 17,90% (agente 12A, escenarios 2 y 3). El mayor $RVN_{(eb)}$ varía de un 29,97% a un 43,34% (agente 12A, escenario 0; agente 4B, escenario 3).

Canal	Nivel	Agente	Componente	Escenarios			
				0	1	2	3
P3C2	1	12A	12A(1)	27,48%	30,27%	25,16%	28,38%
			12A(2)	29,97%	42,08%	31,28%	17,90%
			12A(3)	19,30%	25,52%	8,71%	21,61%
			12A(4)	26,38%	22,20%	24,04%	20,94%
	2	2B	2B	23,09%	26,82%	20,42%	29,68%
			3B	12,91%	10,36%	11,29%	19,82%
			4B	11,68%	36,68%	22,17%	43,34%
			5B	14,90%	29,15%	10,09%	33,17%

Tabla 6.12. Reducción (%) del EB entre PSV y PSN $RVN_{(eb)}$ para la subred 3 (continúa).

Canal	Nivel	Agente	Componente	Escenarios			
				0	1	2	3
P3C4	1	14A	14A(1)	10,90%	23,01%	11,15%	36,24%
			14A(2)	29,10%	12,86%	25,44%	16,99%
			14A(3)	22,10%	28,28%	24,59%	25,60%
			14A(4)	25,72%	18,74%	25,78%	16,34%
	2	6B	6B(1)	20,63%	24,54%	26,40%	22,63%
			6B(2)	23,78%	20,89%	26,51%	17,18%
			6B(3)	19,79%	18,90%	26,45%	18,54%
		7B	7B	34,27%	11,75%	10,76%	22,51%
		8B	8B	33,48%	21,63%	24,83%	18,07%
		9B	9B	24,76%	24,00%	14,58%	21,75%
	3	1A	1A	26,34%	28,54%	32,30%	20,86%
		2A	2A	25,87%	19,63%	12,62%	31,22%
		1C	1C	21,04%	22,02%	30,71%	17,33%
		2C	2C	23,26%	25,69%	26,34%	22,30%

Tabla 6.12. Reducción (%) del EB entre PSV y PSN $RVN_{(eb)}$ para la subred 3.

En la tabla 6.12 se observa que el canal P3C4 tiene un mínimo $RVN_{(eb)}$ que varía entre un 10,76% (agente 7B, escenario 2) y un 16,34% (agente 14A, escenario 3). El máximo $RVN_{(eb)}$ varía entre un 28,54% (agente 1, escenario 1) y un 36,24% (agente 14A, escenario 3).

6.5. Número de pedidos de la Cadena de Suministro.

6.5.1. Análisis del número de pedidos de la subred 1.

De los resultados de la simulación de la subred 1 (ver anexo E) destaca lo siguiente:

En el escenario 0 el fabricante (componentes P1C3, P1C4 y P1C7) con Políticas de Suministro Vigentes (PSV) coloca más pedidos (entre 75 y 86) que con Políticas de Suministro Nuevas (PSN) (entre 61 y 69), como se puede ver en la figura 6.18. En el nivel 1 los agentes 3A, 4A y 7A colocan entre 70 y 96 pedidos con PSV, pero con PSN colocan menos pedidos, entre 53 y 68. El agente 1B (localizado en el nivel 2) coloca una mayor cantidad de comandas con PSV (75) que con PSN (61).

En el escenario 1 el fabricante coloca más pedidos cuando opera con PSV (entre 79 y 91) que cuando lo hace con PSN (entre 64 y 74), como se puede observar en la figura 6.18. Los agentes del nivel 1 de la subred 1 colocan una mayor cantidad de comandas con PSV (entre 71 y 99) que con PSN (entre 54 y 78). Los agentes del nivel 2 colocan una mayor cantidad de comandas con PSV (80) que con PSN (61).

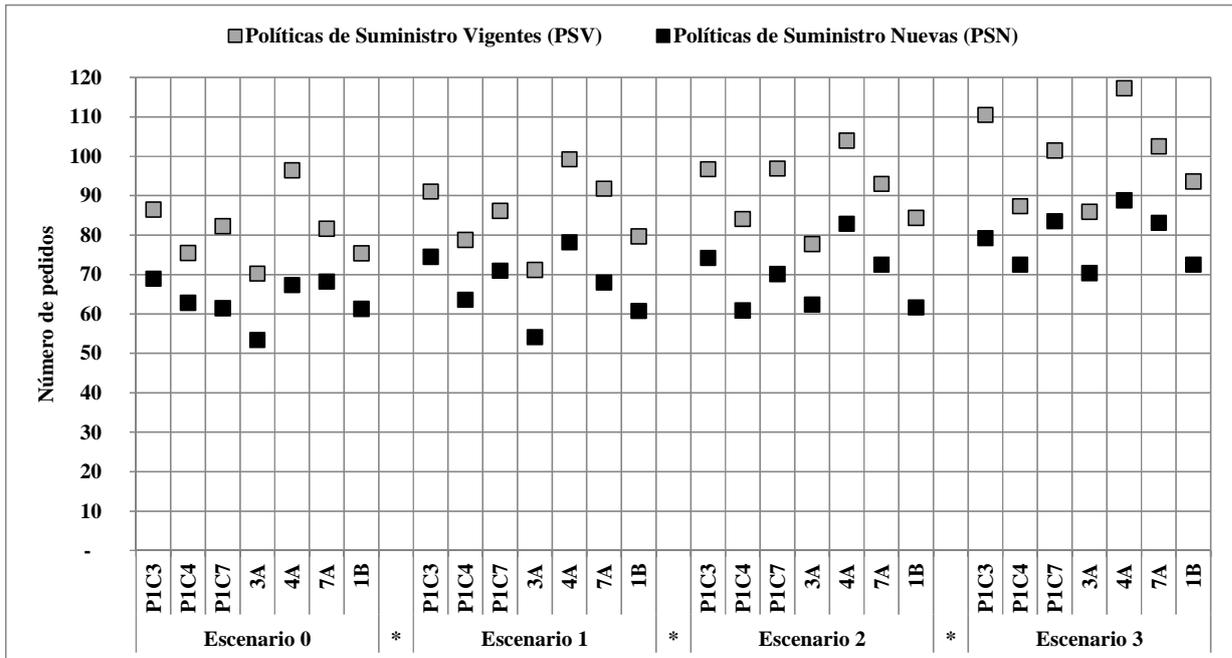


Figura 6.18. Número de pedidos de la subred 1.

En el escenario 2 el fabricante coloca más comandas con PSV (entre 84 y 97) que con PSN (entre 61 y 74), como se puede ver en la figura 6.18. El número de comandas en el nivel 1 es mayor con PSV (entre 78 y 104) que con PSN (entre 62 y 83 pedidos). En el nivel 2 el número de comandas pasa de 84 con PSV a 62 con PSN.

En el escenario 3 el fabricante coloca una mayor cantidad de comandas con PSV (entre 87 y 110) que con PSN (entre 73 y 83) como se observa en la figura 6.18. En el nivel 1 el número de comandas varía entre 86 y 117 con PSV, siendo menos con PSN, entre 70 y 89. En el nivel 2 el número de comandas pasa de 94 con PSV a 73 con PSN.

El porcentaje de reducción del número de pedidos entre PSV y PSN $RVN_{(np)}$ para la subred 1 se puede ver en la tabla 6.13. El mínimo $RVN_{(np)}$ se encuentra entre un 16,46% (agente 7A, escenario 0) y un 19,74% (agente 3A, escenario 2). El máximo $RVN_{(np)}$ varía entre un 25,94% (agente 7A, escenario 1) y un 30,25% (agente 4A, escenario 0).

Agente	Componente	Escenario 0	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Fabricante	PIC3	20,33%	18,23%	23,28%	28,31%
	PIC4	16,75%	19,26%	27,65%	16,95%
	PIC7	25,26%	17,65%	27,61%	17,72%
3A	3A	23,98%	23,98%	19,74%	18,06%
4A	4A	30,25%	21,25%	20,37%	24,27%
7A	7A	16,46%	25,94%	21,99%	18,89%
1B	1B	18,69%	23,74%	26,93%	22,48%

Tabla 6.13. Reducción (%) del número de pedidos entre PSV y PSN $RVN_{(np)}$ para la subred 1.

6.5.2. Análisis del número de pedidos de la subred 2.

Los resultados de la subred 2 (ver anexo E) se grafican en la figura 6.19 y se comentan enseguida.

En el escenario 0 el fabricante (componentes P2C1, P2C4 y P2C7) coloca más comandas con PSV (entre 78 y 83) que con PSN (entre 57 y 62). Los agentes 2A, 5A y 10A (nivel 1) colocan más pedidos con PSV (entre 74 y 85) que con PSN (entre 56 y 68). El agente 1B (nivel 2) pasa de 76 pedidos con PSV a 56 pedidos con PSN.

En el escenario 1 el fabricante coloca menos pedidos con PSN (entre 62 y 72) que con PSV (entre 81 y 90). Los agentes del nivel 1 colocan una menor cantidad de pedidos con PSN (entre 59 y 76) que con PSV (entre 77 y 93). El agente 1B del nivel 2 coloca más pedidos con PSV (85) que con PSN (67).

En el escenario 2 el fabricante coloca más pedidos con PSV (entre 89 y 97) que con PSN (entre 74 y 80). El número de pedidos en el nivel 1 varía entre 81 y 103 con PSV, siendo menor con PSN, entre 64 y 85. En el nivel 2 la cantidad de pedidos pasa de 88 con PSV a 75 con PSN.

En el escenario 3 el fabricante coloca entre 96 y 102 pedidos con PSV. Pero con PSN el fabricante coloca menos comandas, entre 78 y 81 pedidos. La cantidad de comandas en el nivel 1 con PSV varía entre 89 y 112, siendo menor esta cantidad con PSN, entre 71 y 92. El número de pedidos en el nivel 2 pasa de 98 con PSV a 77 con PSN.

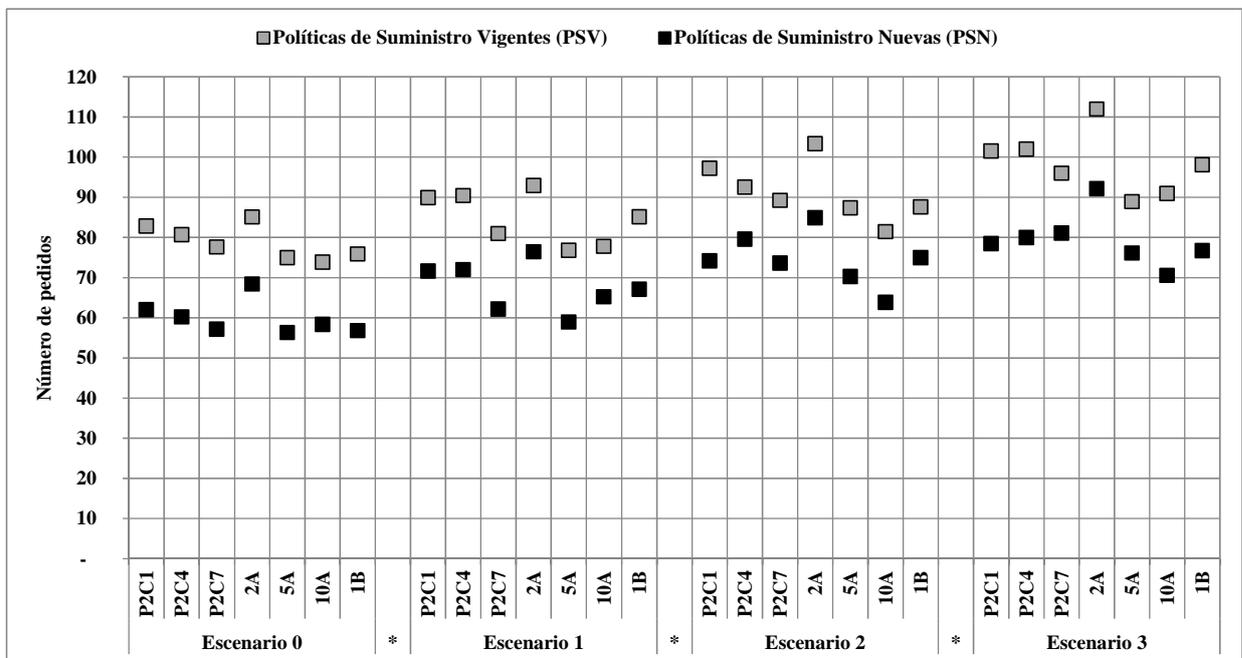


Figura 6.19. Número de pedidos de la subred 2.

El porcentaje de reducción del número de pedidos entre PSV y PSN $RVN_{(np)}$ para la subred 2 se encuentra en la tabla 6.14. Se observa que el fabricante tiene el máximo $RVN_{(np)}$ en los cuatro escenarios simulados, el cual varía entre un 22,70% (componente P2C1, escenario 3) y un 26,38% (componente P2C7, escenario 0). El mínimo $RVN_{(np)}$ se encuentra entre un 14,20% (fabricante, escenario 2) y un 19,64% (agente 2A, escenario 0).

Agente	Componente	Escenario 0	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Fabricante	P2C1	25,16%	20,33%	23,71%	22,70%
	P2C4	25,40%	20,41%	14,20%	21,60%
	P2C7	26,38%	23,27%	17,53%	15,53%
2A	2A	19,64%	17,79%	17,82%	17,66%
5A	5A	24,88%	23,21%	19,55%	14,44%
10A	10A	20,97%	16,14%	21,62%	22,44%
1B	1B	25,15%	21,19%	14,44%	21,82%

Tabla 6.14. Reducción (%) del número de pedidos entre PSV y PSN $RVN_{(np)}$ para la subred 2.

6.5.3. Análisis del número de pedidos de la subred 3.

En este subapartado se analizan con mayor detalle los resultados de la subred 3 (ver anexo E). De los resultados asociados al canal P3C2 (ver figura 6.20) destaca lo siguiente:

En el escenario 0 el fabricante coloca menos pedidos con PSN (59) que con PSV (77). El agente 12A (nivel 1) coloca más comandas con PSV (entre 55 y 62) que con PSN (entre 43 y 51). Los agentes 2B, 3B, 4B y 5B (nivel 2) colocan entre 43 y 57 pedidos con PSV, pero con PSN la cantidad de pedidos se reduce a valores de entre 33 y 43 pedidos.

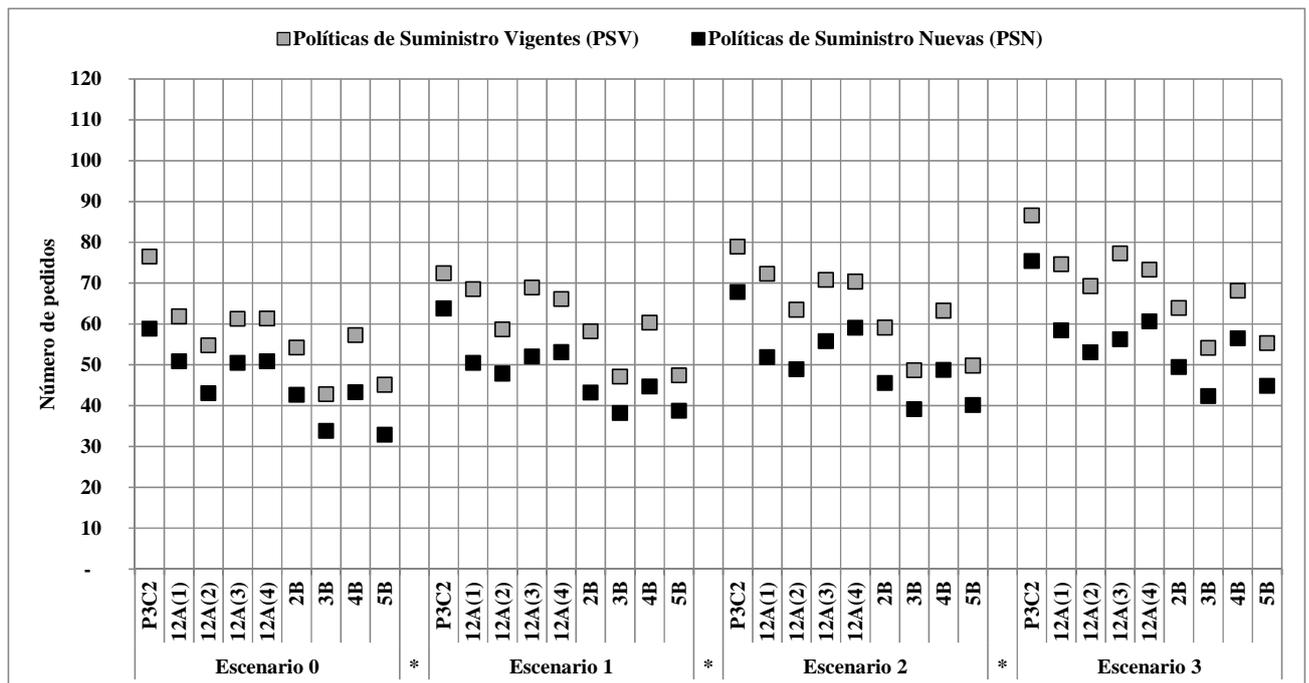


Figura 6.20. Número de pedidos del canal P3C2 de la subred 3.

En el escenario 1 el fabricante coloca menos pedidos con PSN (64) que con PSV (72), como ocurre con el agente 12A con PSN (entre 48 y 64) y con PSV (entre 59 y 72). Los agentes del nivel 2 colocan más pedidos con PSV (entre 47 y 60) que con PSN (entre 38 y 45).

En el escenario 2 el fabricante coloca menos pedidos con PSN (68) que con PSV (79), como sucede con el agente 12A con PSN (entre 49 y 68) y con PSV (entre 63 y 79). La cantidad de pedidos en el nivel 2 es menor con PSN (entre 39 y 49) que con PSV (entre 49 y 63).

En el escenario 3 el fabricante coloca más pedidos con PSV (87) que con PSN (75). El agente 12A coloca más pedidos con PSV (entre 69 y 77) que con PSN (entre 53 y 61), como sucede también con los agentes del nivel 2 con PSV (entre 54 y 68) y con PSN (entre 42 y 56).

Los resultados de la simulación del canal P3C4 (figuras 6.21 y 6.22) se analizan a continuación.

En el escenario 0 el fabricante y el agente 14A (nivel 1) colocan menos comandas con PSN (63 y 72) que con PSV (entre 82 y 92) (ver figura 6.21). En el nivel 2 el agente 6B coloca más pedidos con PSV (entre 71 y 75) que con PSN (entre 53 y 63), como ocurre con los agentes 7B, 8B y 9B con PSV (entre 47 y 80) y con PSN (entre 35 y 62). Los agentes 1A, 2A, 1C y 2C (nivel 3) colocan más pedidos con PSV (entre 53 y 72) que con PSN (entre 40 y 52).

En el escenario 1 la cantidad de pedidos en el nivel 1 es mayor con PSV (entre 89 y 100) que con PSN (entre 67 y 75), como ocurre en el nivel 2 con PSV (entre 50 y 82) y con PSN (entre 36 y 66). En el nivel 3 la cantidad de pedidos es mayor con PSV (entre 57 y 76) que con PSN (entre 43 y 67).

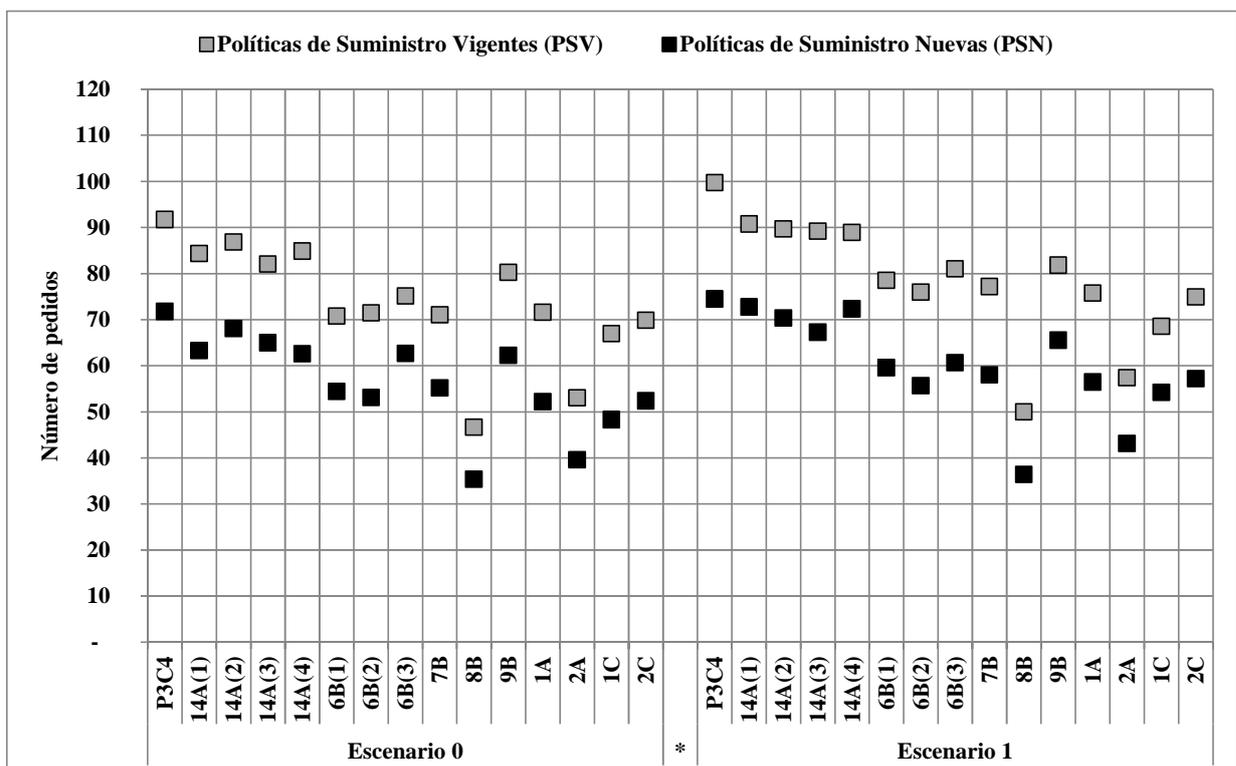


Figura 6.21. Número de pedidos del canal P3C4 de la subred 3 (escenarios 0 y 1).

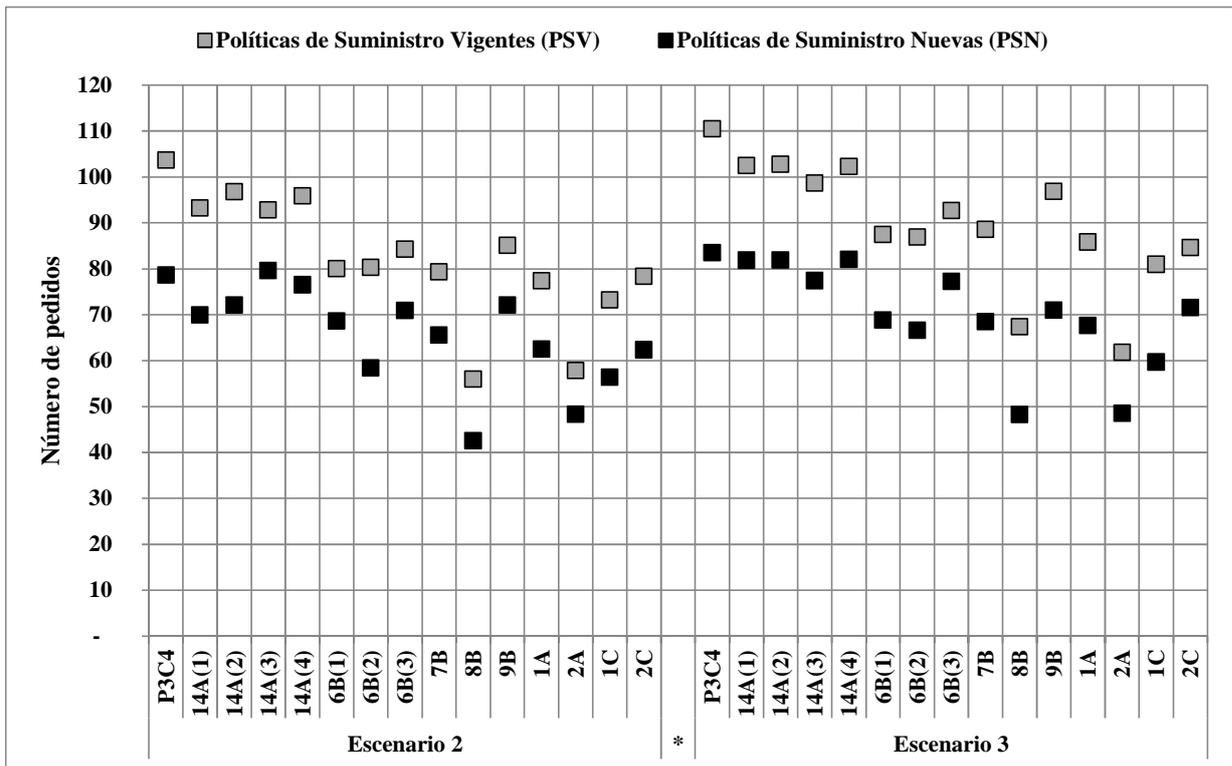


Figura 6.22. Número de pedidos del canal P3C4 de la subred 3 (escenarios 2 y 3).

En el escenario 2 el número de pedidos en el nivel 1 del canal P3C4 es mayor con PSV (entre 93 a 104) que con PSN (entre 70 y 80) (ver figura 6.22). Los resultados asociados al nivel 2 indican que la cantidad de pedidos es mayor con PSV (entre 79 y 85) que con PSN (entre 43 y 72). La cantidad de pedidos en el nivel 3 es mayor con PSV (entre 58 y 78) que con PSN (entre 48 y 63).

En el escenario 3 la cantidad de comandas en el nivel 1 del canal P3C4 es menor con PSN (entre 77 y 83) que con PSV (entre 91 y 110), como se puede ver en la figura 6.22. En el nivel 2 del canal P3C4 la cantidad de comandas es menor con PSN (entre 48 y 77) que con PSV (entre 67 y 97), como ocurre también en el nivel 3 con PSN (entre 49 y 72) y con PSV (entre 62 y 86).

El porcentaje de reducción del número de pedidos entre PSV y PSN $RVN_{(np)}$ para la subred 3 se puede ver en la tabla 6.15. En el canal P3C2 el mínimo $RVN_{(np)}$ varía entre un 11,98% (fabricante, escenario 1) y un 17,19% (agente 12A, escenario 0). El máximo $RVN_{(np)}$ varía entre un 27,13% (agente 5B, escenario 0) y un 28,18% (agente 12A, escenario 2).

En el canal P3C4 el mínimo $RVN_{(np)}$ varía entre un 14,15% (agente 6B, escenario 2) y un 18,67% (agente 14A, escenario 1), de acuerdo con los datos de la tabla 6.15. En el canal P3C4 el máximo $RVN_{(np)}$ varía entre un 27,13% y un 28,40% (agente 8B, escenario 1 y escenario 3).

Canal	Agente	Componente	Escenario 0	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
P3C2	Fabricante	P3C2	23,17%	11,98%	14,06%	12,96%
	12A	12A(1)	17,75%	26,34%	28,18%	21,75%
		12A(2)	21,38%	18,43%	22,96%	23,42%
		12A(3)	17,63%	24,48%	21,19%	27,27%
		12A(4)	17,19%	19,69%	16,09%	17,22%
	2B	2B	21,26%	25,74%	22,88%	22,66%
	3B	3B	21,07%	18,95%	19,60%	21,81%
	4B	4B	24,48%	25,93%	22,85%	17,04%
5B	5B	27,13%	18,40%	19,41%	19,12%	
P3C4	Fabricante	P3C4	21,75%	25,28%	24,18%	24,46%
	14A	14A(1)	24,92%	19,89%	24,94%	20,12%
		14A(2)	21,63%	21,57%	25,53%	20,30%
		14A(3)	20,80%	24,61%	14,27%	21,56%
		14A(4)	26,28%	18,67%	20,19%	19,83%
	6B	6B(1)	23,13%	24,12%	14,15%	21,30%
		6B(2)	25,74%	26,79%	27,24%	23,37%
		6B(3)	16,64%	25,18%	15,87%	16,66%
	7B	7B	22,36%	24,82%	17,32%	22,71%
	8B	8B	24,22%	27,13%	23,90%	28,40%
	9B	9B	22,48%	19,29%	15,32%	26,66%
	1A	1A	27,15%	25,49%	19,19%	21,23%
	2A	2A	25,45%	24,90%	16,42%	21,47%
1C	1C	27,89%	20,88%	22,98%	26,28%	
2C	2C	25,09%	23,70%	20,49%	15,43%	

Tabla 6.15. Reducción (%) del número de pedidos entre PSV y PSN $RVN_{(np)}$ para la subred 3.

6.6. Medición del plazo de entrega de la Cadena de Suministro.

6.6.1. Análisis del plazo de entrega de la subred 1.

Los resultados de la subred 1 (ver anexo F) se grafican en la figura 6.23 y se comentan enseguida:

En el escenario 0 el diferencial del plazo de entrega entre PSV y PSN varía de 0,07 a 0,17 días. El plazo de entrega del agente 3A con PSN (2,74 días) es menor que con PSV (2,81 días), como ocurre con el agente 4B con PSN (2,51 días) y con PSV (2,63 días). En cambio, el agente 7A suministra en menos tiempo con PSV (2,51 días) que con PSN (2,58 días), como sucede también con el agente 1B con PSV (2,38 días) y con PSN (2,55 días).

En el escenario 1 el diferencial del plazo de entrega entre PSV y PSN es de hasta 0,18 días. El agente 3A suministra en más tiempo con PSV (2,66 días) que con PSN (2,48 días), como ocurre con el agente 4A con PSV (2,79 días) y con PSN (2,71 días). Por otro lado, el agente 7A suministra en

menos tiempo con PSV (2,61 días) que con PSN (2,67), como ocurre también con el agente 1B con PSV (2,58 días) y con PSN (2,69 días).

En el escenario 2 el diferencial del plazo de entrega entre PSV y PSN varía de 0,04 a 0,07 días. El agente 3A suministra en menos tiempo con PSV (2,77 días) que con PSN (2,81 días), al igual que el agente 4A con PSV (2,55 días) y con PSN (2,59 días). En cambio, el agente 7A suministra en menos tiempo con PSN (2,65 días) que con PSV (2,72 días), como sucede también con el agente 1B con PSN (2,76 días) y con PSV (2,82 días).

En el escenario 3 el diferencial del plazo de entrega entre PSV y PSN varía de 0,08 a 0,14 días. El plazo de entrega del agente 3A es menor con PSV (2,63 días) que con PSN (2,75 días), al igual que sucede con el agente 1B con PSV (2,73 días) y con PSN (2,87 días). En cambio, el agente 4A tiene un plazo de entrega más corto con PSN (2,66 días) que con PSV (2,78 días), como ocurre también con el agente 7A con PSN (2,73 días) y con PSV (2,87 días).

El porcentaje de reducción del plazo de entrega entre PSV y PSN $RVN_{(pe)}$ para la subred 1 se encuentra en la tabla 6.16. El $RVN_{(pe)}$ con signo positivo significa que las entregas se realizan en menos tiempo con PSN que con PSV. En caso contrario, el $RVN_{(pe)}$ tiene signo negativo. El $RVN_{(pe)}$ varía entre un 2,13% (agente 1B, escenario 2) y un 6,77% (agente 3A, escenario 1). Algunos agentes tienen un menor tiempo de entrega con PSV que con PSN, por lo que el $RVN_{(pe)}$ varía entre un -7,14% (agente 1B, escenario 0) y un -1,44% (agente 3A, escenario 2).

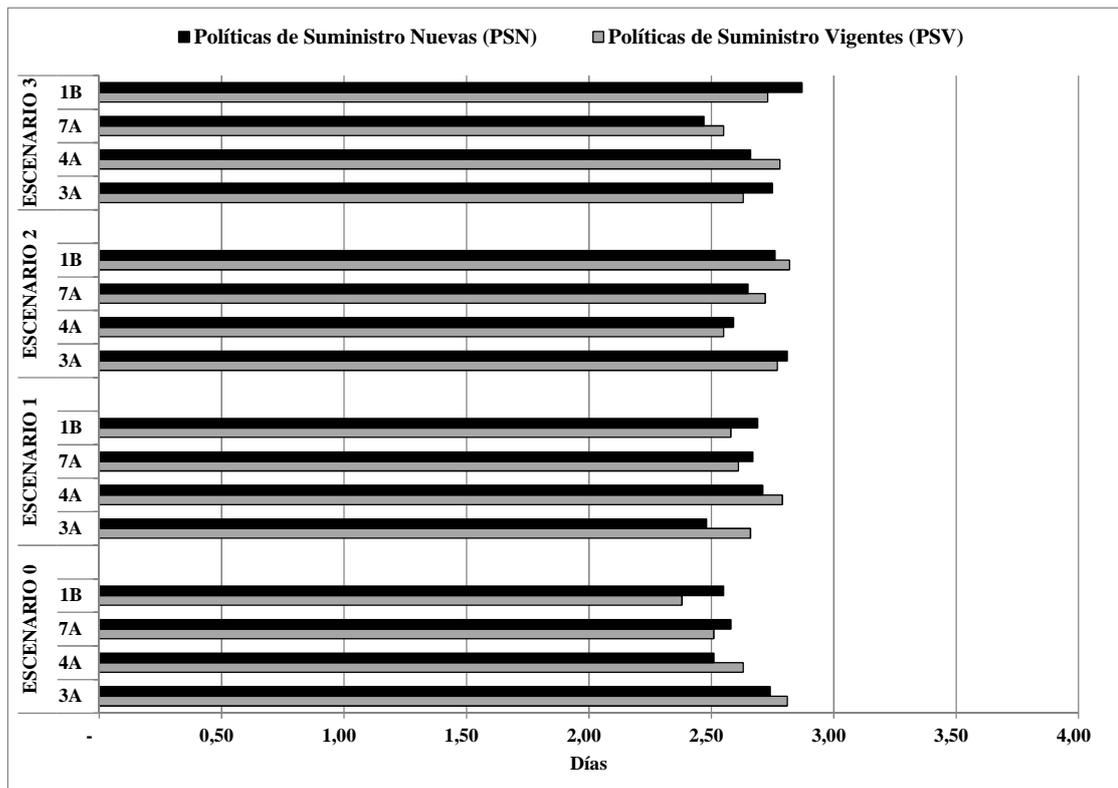


Figura 6.23. Plazo de entrega (en días) de la subred 1.

Agente	Componente	Escenario 0	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
3A	3A	2,49%	6,77%	-1,44%	-4,56%
4A	4A	4,56%	2,87%	-1,57%	4,32%
7A	7A	-2,79%	-2,30%	2,57%	3,14%
1B	1B	-7,14%	-4,26%	2,13%	-5,13%

Tabla 6.16. Reducción (%) del plazo de entrega entre PSV y PSN $RVN_{(pe)}$ para la subred 1.

6.6.2. Análisis del plazo de entrega de la subred 2.

Los resultados de la subred 2 (ver anexo F) se grafican en la figura 6.24, de la cual destaca lo siguiente:

En el escenario 0 el diferencial del plazo de entrega entre PSV y PSN es de hasta 0,26 días. El agente 2A suministra en menos tiempo cuando opera con PSV (2,43 días) que con PSN (2,67 días). El agente 10A tiene un menor tiempo de suministro con PSV (2,39 días) que con PSN (2,53 días). Por otro lado, el agente 5A suministra en menos tiempo con PSN (2,51 días) que con PSV (2,77 días), como ocurre también con el agente 1B con PSN (2,47 días) y con PSV (2,59 días).

En el escenario 1 el diferencial del plazo de entrega entre PSV y PSN varía de 0,14 a 0,34 días. El agente 2A suministra en menos tiempo cuando opera con PSV (2,31 días) que con PSN (2,54 días). El agente 10A tiene un plazo de entrega más corto con PSV (2,27 días) que con PSN (2,41 días). En cambio, el agente 5A suministra en menos tiempo con PSN (1,89 días) que con PSV (2,05 días), como sucede también con el agente 1B con PSN (2,29 días) y con PSV (2,63 días).

El diferencial de las entregas entre PSV y PSN en el escenario 2 varía de 0,12 a 0,34 días. El agente 2A suministra en menos tiempo con PSV (1,98 días) que con PSN (2,32 días), como sucede con el agente 5A con PSV (2,73 días) y con PSN (2,87 días). Por otra parte, el agente 10A suministra en menos tiempo con PSN (2,23 días) que con PSV (2,35 días), como también ocurre con el agente 1B con PSN (2,52 días) y con PSV (2,75 días).

En el escenario 3 el diferencial de tiempo entre PSV y PSN varía de 0,15 a 0,26 días. El agente 2A suministra en menos tiempo con PSN (2,51 días) que con PSV (2,66 días). El plazo de entrega del agente 5A es menor con PSN (2,61 días) que con PSV (2,82 días), como sucede con el agente 10A con PSN (1,68 días) y con PSV (1,94 días). En cambio, el plazo de entrega del agente 1B es menor con PSV (2,58 días) que con PSN (2,75 días).

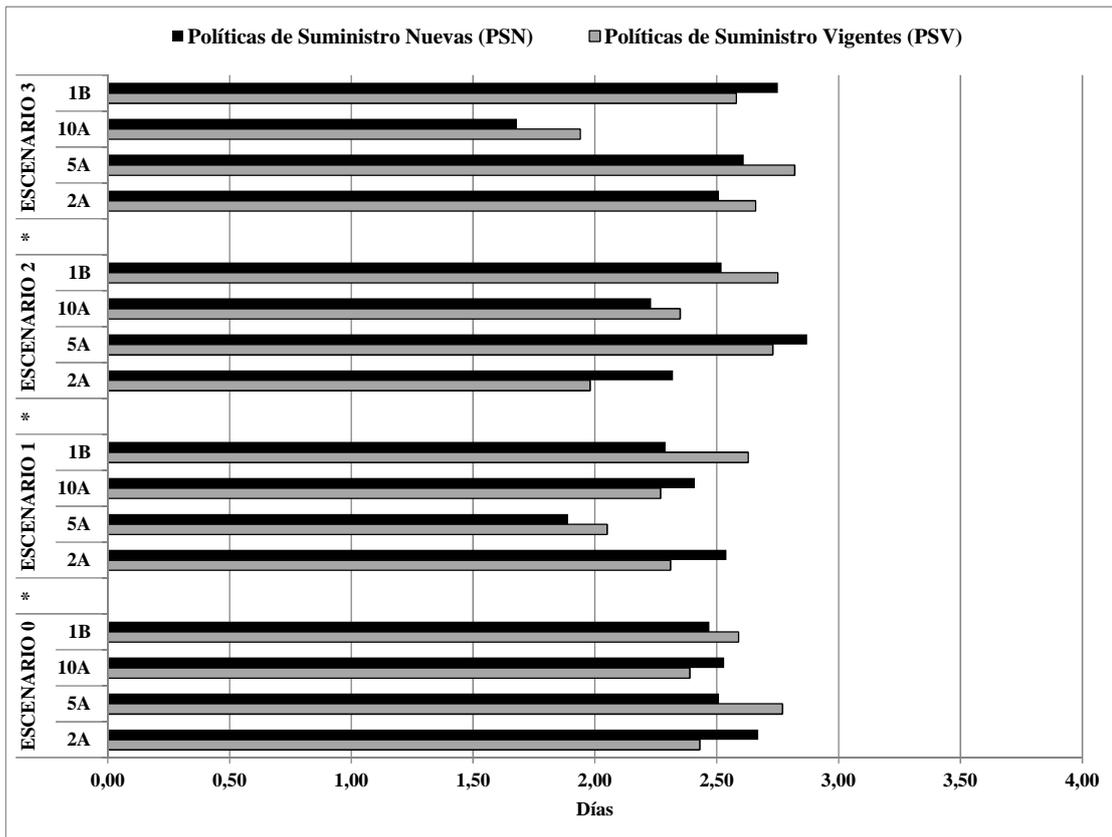


Figura 6.24. Plazo de entrega (en días) de la subred 2.

El porcentaje de reducción del plazo de entrega entre PSV y PSN $RVN_{(pe)}$ para la subred 2 (ver tabla 6.17) varía entre un 4,63% (agente 1B, escenario 0) y un 13,40% (agente 10A, escenario 3). Algunos agentes suministran en menos tiempo con PSV que con PSN, lo cual varía entre un -17,17% (agente 2A, escenario 2) y un -5,13% (agente 5A, escenario 2).

Agente	Componente	Escenario 0	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
2A	2A	-9,88%	-9,96%	-17,17%	5,64%
5A	5A	9,39%	7,80%	-5,13%	7,45%
10A	10A	-5,86%	-6,17%	5,11%	13,40%
1B	1B	4,63%	12,93%	8,36%	-6,59%

Tabla 6.17. Reducción (%) del plazo de entrega entre PSV y PSN $RVN_{(pe)}$ para la subred 2.

6.6.3. Análisis del plazo de entrega de la subred 3.

Por la complejidad de la subred 3 primero se analizan los resultados del canal P3C2 y después los correspondientes al canal P3C4 (ver anexo F). Acerca del canal P3C2 se comenta lo siguiente:

En el escenario 0 el diferencial del plazo de entrega entre PSV y PSN es de hasta 0,20 días (ver figura 6.25). El agente 12A suministra en menos tiempo con PSN (2,73 días) que con PSV (2,87 días), como ocurre también con el agente 4B con PSN (1,73 días) y con PSV (1,92 días) y el agente 5B con PSN (2,36 días) y con PSV (2,51 días).

En el mismo escenario 0 se observa que el agente 2B suministra en menos tiempo con PSV (1,58 días) que con PSN (1,78 días), como ocurre también con el agente 3B con PSV (3,49 días) y con PSN (3,61 días).

En el escenario 1 el diferencial del plazo de entrega entre PSV y PSN es de hasta 0,40 días. El agente 12A suministra en menos tiempo con PSV (1,87 días) que con PSN (2,27 días), como ocurre con el agente 5B con PSV (2,44 días) y con PSN (2,76 días). El agente 2B suministra en menos tiempo con PSN (1,84 días) que con PSV (2,08 días), como sucede también con el agente 3B con PSN (3,65 días) y con PSV (3,81 días) y el agente 4B con PSN (1,92 días) y con PSV (2,04 días).

En el escenario 2 el diferencial del plazo de entrega entre PSV y PSN varía entre 0,23 y 0,36 días. El agente 12A suministra en menos tiempo con PSN (1,97 días) que con PSV (2,33 días), como ocurre también con el agente 4B con PSN (2,26 días) y con PSV (2,58 días) y el agente 5B con PSN (1,83 días) y con PSV (2,16 días). El agente 2B suministra en menos tiempo con PSV (2,19 días) que con PSN (2,45 días), al igual que el agente 3B con PSV (3,32 días) y con PSN (3,55 días).

En el escenario 3 el diferencial del plazo de entrega entre PSV y PSN varía de 0,13 a 0,34 días. El plazo de entrega del agente 12A es menor con PSV (2,55 días) que con PSN (2,73 días), como ocurre con el agente 2B con PSV (2,25 días) y con PSN (2,38 días) y el agente 5B con PSV (2,19 días) y con PSN (2,38 días). Por el contrario, el agente 3B tiene un menor plazo de entrega con PSN (3,48 días) que con PSV (3,82 días), como ocurre también con el agente 4B con PSN (1,94 días) y con PSV (2,22 días).

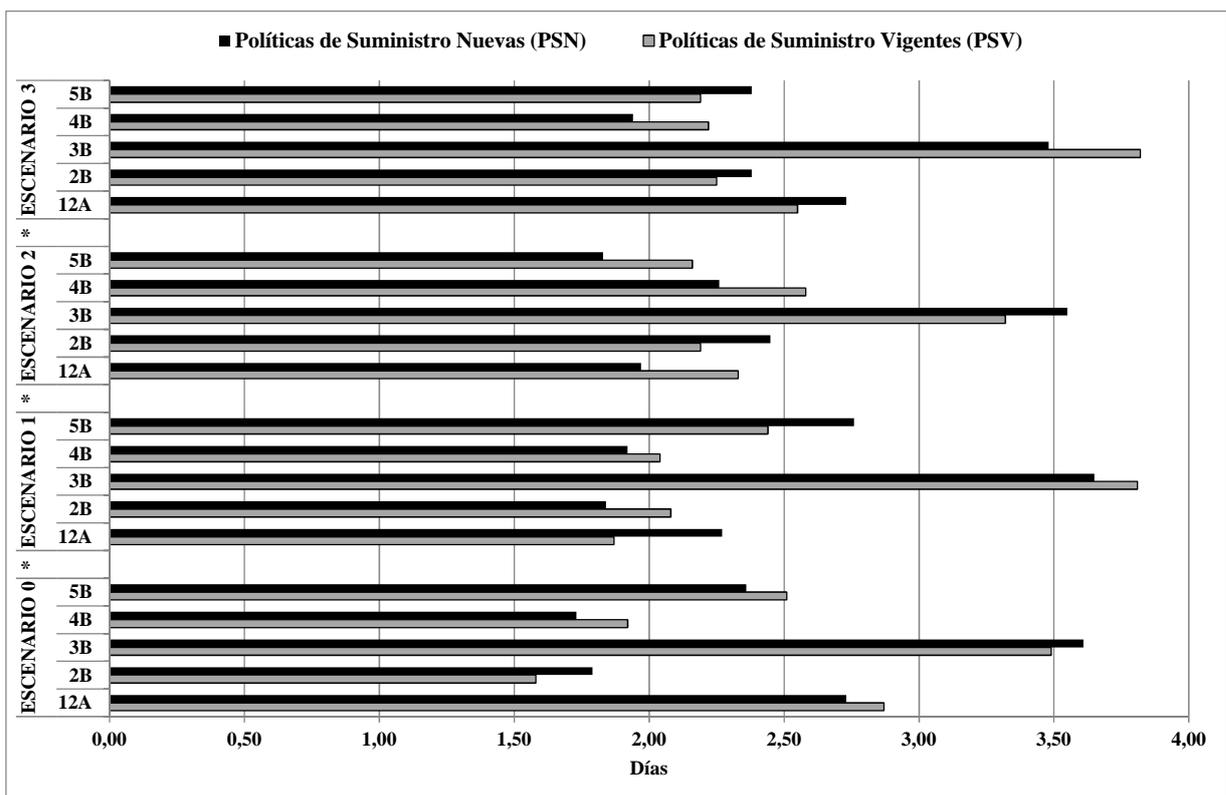


Figura 6.25. Plazo de entrega (en días) del canal P3C2 de la subred 3.

Los resultados del canal P3C4 (ver anexo F) se grafican en la figura 6.26 y se comentan enseguida:

En el escenario 0 el diferencial del plazo de entrega entre PSV y PSN varía de 0,07 a 0,32 días. El agente 14A tiene un menor plazo de entrega con PSV (2,25 días) que con PSN (2,35 días), al igual que el agente 6B con PSV (1,54 días) y con PSN (1,81 días). Esto mismo ocurre con el agente 8B con PSV (2,22 días) y con PSN (2,54 días) y el agente 1C con PSV (2,37 días) y con PSN (2,48 días).

Los resultados indican que el agente 7B suministra en menos tiempo con PSN (2,74 días) que con PSV (2,81 días) como ocurre con el agente 9B con PSN (2,09 días) y con PSV (2,30 días). El agente 1A suministra en menos tiempo con PSN (3,67 días) que con PSV (3,88 días). Esto sucede también con el agente 2A con PSN (1,77 días) y con PSV (1,91 días) y con el agente 2C con PSN (1,83 días) y con PSV (1,94 días).

En el escenario 1 el diferencial del plazo de entrega entre PSV y PSN varía de 0,04 a 0,22 días. El agente 14A suministra en menos tiempo con PSN (2,39 días) que con PSV (2,33 días), al igual que el agente 7B con PSN (2,29 días) y con PSV (2,42 días). El agente 9B tiene un tiempo de suministro menor con PSN (2,16 días) que con PSV (2,21 días). Esto mismo como ocurre con los agentes: 1A con PSN (3,28 días) y con PSV (3,36 días) y 2C con PSN (2,29 días) y con PSV (2,33 días).

Los siguientes agentes tienen un menor tiempo de suministro con las políticas actuales. El agente 6B suministra en menos tiempo con PSV (2,36 días) que con PSN (2,58 días). El agente 8B tiene un plazo de entrega más corto con PSV (2,50 días) que con PSN (2,71 días) al igual que el agente 2A con PSV (2,59 días) y con PSN (2,75 días). El agente 1C también suministra en menos tiempo con PSV (1,96 días) que con PSN (2,05 días).

En el escenario 2 el diferencial del plazo de entrega entre PSV y PSN varía de 0,07 a 0,38 días. El agente 14A suministra en menos tiempo con PSN (2,54 días) que con PSV (2,61 días). El agente 6B tiene un plazo de entrega más corto con PSN (2,53 días) que con PSV (2,69 días), como ocurre también con el agente 9B con PSN (2,63 días) y con PSV (2,75 días). El agente 1A también suministra en menos tiempo con PSN (3,08 días) que con PSV (3,21 días), al igual que el agente 2A con PSN (2,32 días) y con PSV (2,61 días). El tiempo de suministro del agente 1C es menor con PSN (2,33 días) que con PSV (2,58 días).

Los agentes que suministran en menor tiempo con las políticas actuales son: el agente 7B con PSV (2,50 días) y con PSN (2,65 días). El agente 8B con PSV (2,47 días) y con PSN (2,85 días) y el agente 2C con PSV (2,44 días) y con PSN (2,57 días).

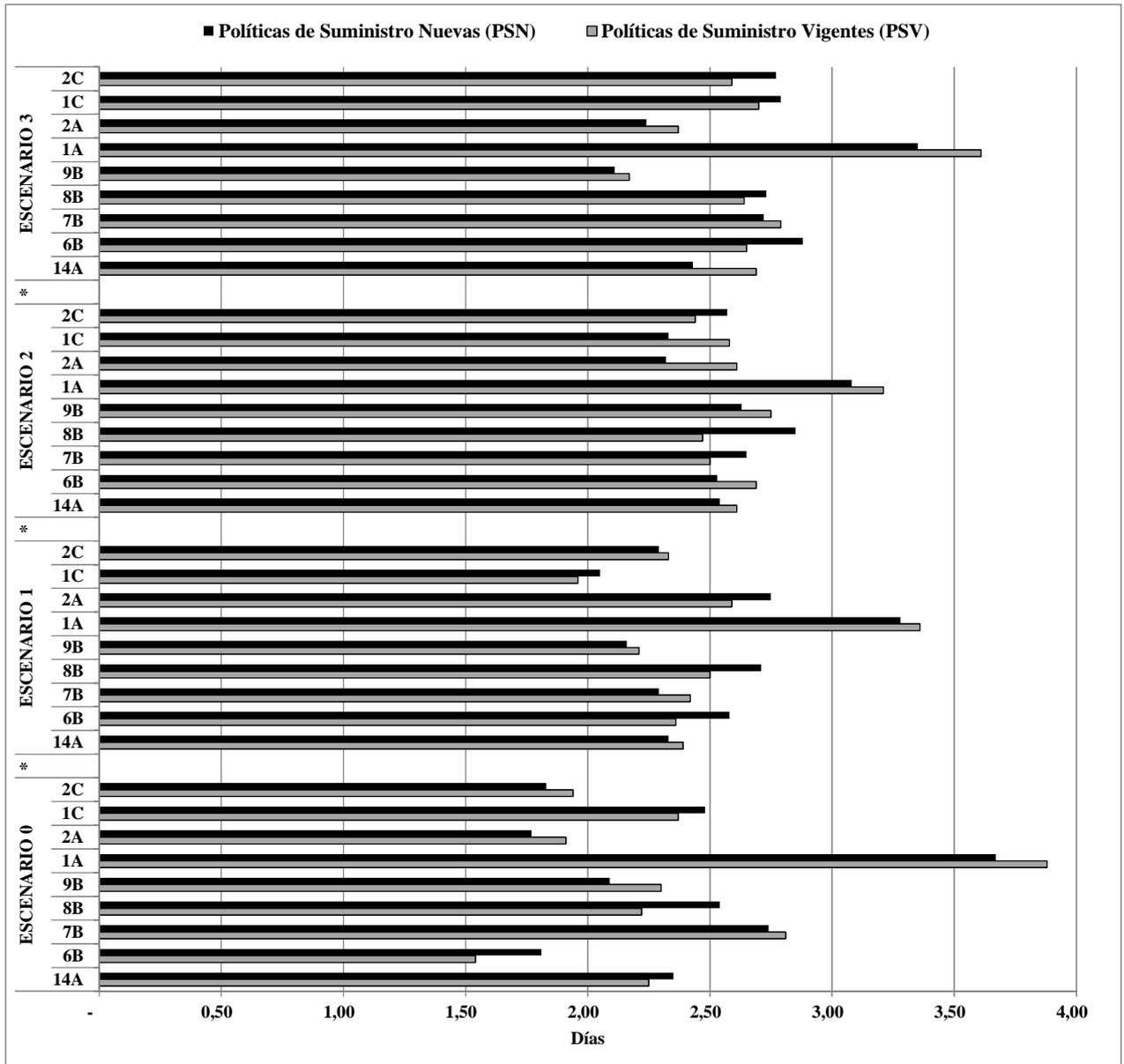


Figura 6.26. Plazo de entrega (en días) del canal P3C4 de la subred 3.

En el escenario 3 el diferencial del plazo de entrega entre PSV y PSN varía de 0,06 a 0,26 días (ver figura 6.26). El plazo de entrega del agente 14A es menor con PSN (2,43 días) que con PSV (2,69 días), como ocurre con el agente 7B con PSN (2,72 días) y con PSV (2,79 días). El agente 9B tiene un menor tiempo de suministro con PSN (2,11 días) que con PSV (2,17 días). Lo mismo ocurre con el agente 1A con PSN (3,35 días) y con PSV (3,61 días) y el agente 2A con PSN (2,24 días) y con PSV (2,37 días).

Los siguientes agentes suministran en menor tiempo con PSV que con PSN. El agente 6B tiene un menor tiempo de suministro con PSV (2,65 días) que con PSN (2,88 días), como ocurre con el agente 8B con PSV (2,64 días) y con PSN (2,73 días). El agente 1C suministra en menos tiempo con PSV (2,70 días) que con PSN (2,79 días), como sucede con el agente 2C con PSV (2,59 días) y con PSN (2,77 días).

El porcentaje de reducción del plazo de entrega entre PSV y PSN $RVN_{(pe)}$ para la subred 3 se encuentra en la tabla 6.18. En el canal P3C2 el $RVN_{(pe)}$ varía entre un 4,20% (agente 3B, escenario 1) y un 15,45% (agente 12A, escenario 2). Algunos agentes del canal P3C2 tienen un plazo de entrega menor con PSV que con PSN, lo cual varía entre un -21,39% (agente 12A, escenario 0) y un -3,44% (agente 3B, escenario 0).

En el canal P3C4 el $RVN_{(pe)}$ varía entre un 1,72% (agente 2C, escenario 1) y un 11,11% (agente 2A, escenario 2). Algunos agentes del canal P3C4 suministran en menos tiempo con PSV que con PSN, lo cual varía entre un -17,53% (agente 6B, escenario 0) y un -3,33% (agente 1C, escenario 3).

Canal	Agente	Componente	Escenario 0	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
P3C2	12A	12A	4,88%	-21,39%	15,45%	-7,06%
	2B	2B	-13,29%	11,54%	-11,87%	-5,78%
	3B	3B	-3,44%	4,20%	-6,93%	8,90%
	4B	4B	9,90%	5,88%	12,40%	12,61%
	5B	5B	5,98%	-13,11%	15,28%	-8,68%
P3C4	14A	14A	-4,44%	2,51%	2,68%	9,67%
	6B	6B	-17,53%	-9,32%	5,95%	-8,68%
	7B	7B	2,49%	5,37%	-6,00%	2,51%
	8B	8B	-14,41%	-8,40%	-15,38%	-3,41%
	9B	9B	9,13%	2,26%	4,36%	2,76%
	1A	1A	5,41%	2,38%	4,05%	7,20%
	2A	2A	7,33%	-6,18%	11,11%	5,49%
	1C	1C	-4,64%	-4,59%	9,69%	-3,33%
	2C	2C	5,67%	1,72%	-5,33%	-6,95%

Tabla 6.18. Reducción (%) del plazo de entrega entre PSV y PSN $RVN_{(pe)}$ para la subred 3.

6.6.4. Análisis del plazo de entrega del fabricante.

Los resultados del fabricante (ver anexo F) se grafican en la figura 6.27 y se comentan enseguida:

En el escenario 0 el diferencial del plazo de entrega entre PSV y PSN es de hasta 0,36 días. El fabricante entrega el producto 1 en menos tiempo con PSV (8,84 días) que con PSN (9,20 días), como ocurre con el producto 3 con PSV (8,71 días) y con PSN (9,02 días). Por el contrario, el fabricante entrega el producto 2 en menos tiempo con PSN (8,22 días) que con PSV (8,57 días).

En el escenario 1 el fabricante con PSN acorta su plazo de entrega hasta 0,16 días. El plazo de entrega del producto 1 es menor con PSN (9,45 días) que con PSV (9,51 días), como sucede con el producto 2 con PSN (7,76 días) y con PSV (7,84 días). El fabricante también entrega el producto 3 en menos tiempo con PSN (9,49 días) que con PSV (9,65 días).

En el escenario 2 el diferencial del plazo de entrega entre PSV y PSN es de hasta 0,37 días. La entrega del producto 1 es en menos tiempo con PSV (8,32 días) que con PSN (8,51 días). En cambio,

el producto 2 se entrega en menos tiempo con PSN (7,62 días) que con PSV (7,99 días), como ocurre también con el producto 3 con PSN (8,99 días) y con PSV (9,17 días).

En el escenario 3 el diferencial del plazo de entrega entre PSV y PSN varía de 0,12 a 0,38 días. El producto 1 tiene un menor tiempo de entrega con PSV (8,75 días) que con PSN (9,13 días), como ocurre con el producto 3 con PSV (8,32 días) y con PSN (8,44 días). El producto 2 se entrega en menos tiempo con PSN (8,27 días) que con PSV (8,54 días).

El porcentaje de reducción del plazo de entrega entre PSV y PSN $RVN_{(pe)}$ para el fabricante se encuentra en la tabla 6.19. Recuérdese que el signo negativo de algunos valores de la tabla indica que el plazo de entrega es menor con PSV que con PSN. El $RVN_{(pe)}$ del fabricante varía entre un 0,63% (producto 1, escenario 1) y un 4,63% (producto 2, escenario 2). Las PSN reducen el plazo de entrega del producto 2 en los cuatro escenarios simulados. En algunos escenarios el $RVN_{(pe)}$ del producto 1 y 3 varía entre un -4,34% (producto 1, escenario 3) y un -1,44% (producto 3, escenario 3).

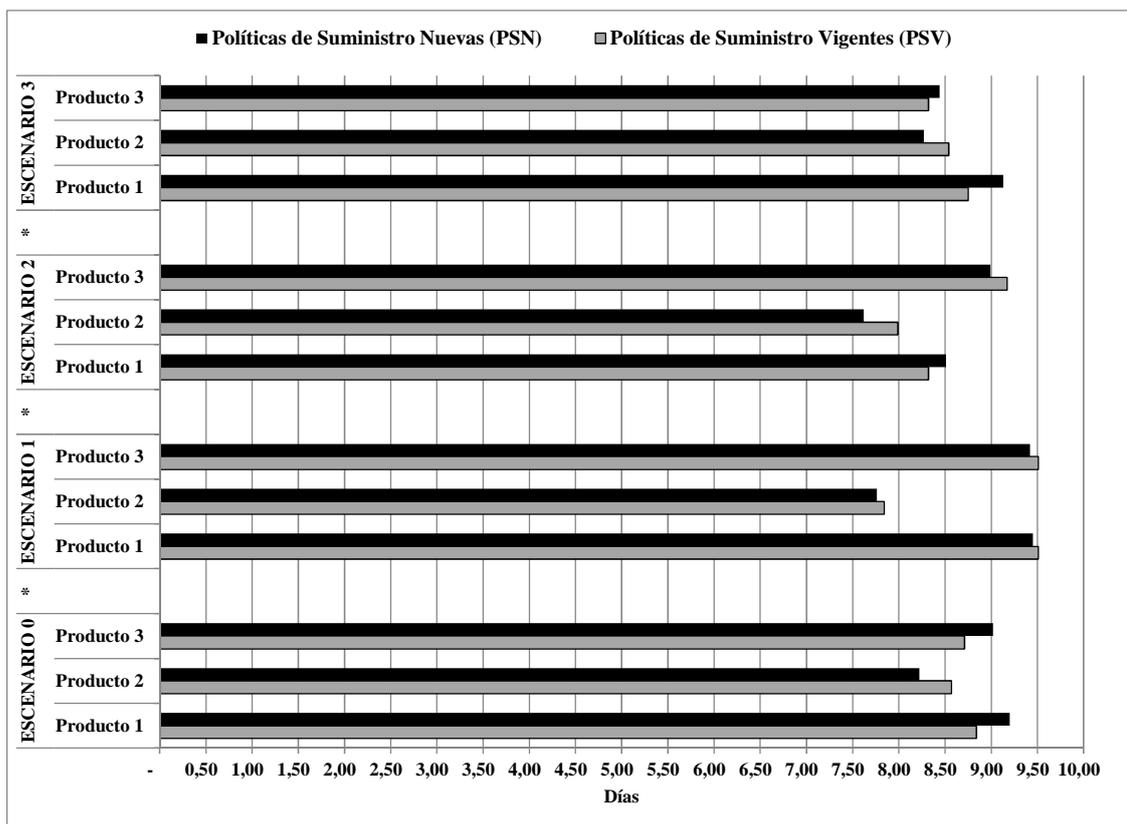


Figura 6.27. Plazo de entrega (en días) del fabricante en los escenarios simulados.

Producto	Escenario 0	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
1	-4,07%	0,63%	-2,28%	-4,34%
2	4,08%	1,02%	4,63%	3,16%
3	-3,56%	1,66%	1,96%	-1,44%

Tabla 6.19. Reducción (%) del plazo de entrega entre PSV y PSN $RVN_{(pe)}$ para el fabricante.

6.7. Coste de gestión de inventario de la Cadena de Suministro.

Los resultados de la simulación asociados al inventario medio con Políticas de Suministro Vigentes (PSV) y con Políticas de Suministro Nuevas (PSN) (ver anexos B y C) sirven para calcular el coste anual de gestión de inventario de la Cadena de Suministro (CS) (ver anexo G) con las fórmulas propuestas por Harris (1913):

$$\text{Coste anual de almacenaje (caa)} = \text{Inventario medio}_{\text{política simulada}} \cdot \text{coste almacenar} \quad \text{Fórmula 6.2}$$

$$\text{Coste anual de pedir (cap)} = \text{Número de comandas al año}_{\text{política simulada}} \cdot \text{coste pedir} \quad \text{Fórmula 6.3}$$

$$\text{Coste anual de gestión de inventario (cagi)} = \text{caa} + \text{cap} \quad \text{Fórmula 6.4}$$

6.7.1. Análisis del coste anual de gestión de inventario de la subred 1.

El coste anual de gestión de inventario (cagi) de los agentes de la subred 1 con PSV y PSN se encuentra en la tabla 6.20. La estrategia global de suministro mejora la operativa de la subred 1 de forma significativa en el escenario 0 (4.470 €) y en el escenario 3 (4.002 €), pero la estrategia tiene un mayor impacto en el escenario 1 (5.170 €) y en el escenario 2 (5.854 €).

Canal	Agente	Componente	Escenario 0		Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
			PSV	PSN	PSV	PSN	PSV	PSN	PSV	PSN
P1C3	Fabricante	P1C3	18.060	17.228	19.006	18.130	20.194	19.051	22.091	21.189
	3A	3A	12.078	11.540	12.648	12.188	13.364	12.955	14.616	14.251
	Cagi del canal P1C3		30.138	28.768	31.654	30.319	33.558	32.006	36.707	35.439
P1C4	Fabricante	P1C4	13.645	13.348	14.093	13.859	15.046	14.773	16.494	16.438
	4A	4A	19.704	18.259	20.497	19.038	21.953	20.171	23.956	22.799
	Cagi del canal P1C4		33.349	31.607	34.590	32.898	36.999	34.945	40.451	39.238
P1C7	Fabricante	P1C7	16.092	15.584	17.227	16.368	18.354	17.281	20.066	19.262
	7A	7A	14.351	13.987	15.455	14.694	16.346	15.681	17.823	17.500
	1B	1B	11.343	10.857	11.858	11.334	12.835	12.325	13.931	13.536
	Cagi del canal P1C7		41.786	40.428	44.540	42.397	47.535	45.288	51.820	50.298
Cagi de la subred 1			105.273	100.803	110.784	105.613	118.092	112.238	128.978	124.975
Mejora operativa			4.470		5.170		5.854		4.002	

Unidades monetarias expresadas en euros (€).

Tabla 6.20. Coste anual de gestión de inventario (en euros/año) de la subred 1.

El porcentaje de reducción del coste anual de gestión de inventario entre PSV y PSN $RVN_{(cagi)}$ para la subred 1 se encuentra en la tabla 6.21. El mínimo $RVN_{(cagi)}$ es de un 2,94% (canal P1C7, escenario 3) y el máximo $RVN_{(cagi)}$ es de un 5,55% (canal P1C4, escenario 2).

Canal	Escenario 0	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
P1C3	4,55%	4,22%	4,63%	3,45%
P1C4	5,22%	4,89%	5,55%	3,02%
P1C7	3,25%	4,81%	4,73%	2,94%

Tabla 6.21. Reducción (%) del coste anual de gestión de inventario entre PSV y PSN $RVN_{(cagi)}$ para la subred 1.

6.7.2. Análisis del coste anual de gestión de inventario de la subred 2.

El coste anual de gestión de inventario (cagi) de los agentes de la subred 2 se encuentra en la tabla 6.22. La estrategia global de suministro reduce el coste de gestión de inventario en mayor medida en el escenario 0 (3.018 €) y en el escenario 1 (3.325 €) que en el escenario 2 (2.069 €) y en el escenario 3 (2.316 €). Sin embargo, la mejora operativa de la subred 2 es bastante significativa en los cuatro escenarios del estudio.

Canal	Agente	Componente	Escenario 0		Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
			PSV	PSN	PSV	PSN	PSV	PSN	PSV	PSN
P2C1	Fabricante	P2C1	14.563	13.968	15.635	15.078	16.906	16.477	18.040	17.675
	2A	2A	10.397	10.026	11.235	10.776	12.221	11.974	13.099	12.834
	Cagi del canal P2C1		24.960	23.995	26.870	25.854	29.127	28.452	31.139	30.509
P2C4	Fabricante	P2C4	17.031	16.336	18.275	17.529	19.533	19.138	21.051	20.518
	5A	5A	7.889	7.608	8.530	8.182	9.193	9.008	9.881	9.631
	Cagi del canal P2C4		24.920	23.944	26.805	25.711	28.726	28.146	30.932	30.149
P2C7	Fabricante	P2C7	14.184	13.679	15.295	14.671	16.665	16.243	18.127	17.668
	10A	10A	9.326	8.977	10.144	9.783	10.855	10.636	11.737	11.440
	1B	1B	5.900	5.678	6.408	6.179	6.815	6.642	7.305	7.157
	Cagi del canal P2C7		29.410	28.334	31.847	30.633	34.335	33.521	37.169	36.265
Cagi de la subred 2			79.291	76.272	85.522	82.197	92.188	90.118	99.240	96.924
Mejora operativa			3.018		3.325		2.069		2.316	

Unidades monetarias expresadas en euros (€).

Tabla 6.22. Coste anual de gestión de inventario (en euros/año) de la subred 2.

El porcentaje de reducción del coste anual de gestión de inventario entre PSV y PSN $RVN_{(cagi)}$ para la subred 2 se encuentra en la tabla 6.23. El $RVN_{(cagi)}$ varía de un 2,02% (canal P2C4, escenario 2) a un 4,08% (canal P2C4, escenario 1).

Canal	Escenario 0	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
P2C1	3,87%	3,78%	2,32%	2,07%
P2C4	3,92%	4,08%	2,02%	2,53%
P2C7	3,66%	3,81%	2,37%	2,43%

Tabla 6.23. Reducción (%) del coste anual de gestión de inventario entre PSV y PSN $RVN_{(cagi)}$ para la subred 2.

6.7.3. Análisis del coste anual de gestión de inventario de la subred 3.

La estrategia global de suministro reduce el coste anual de gestión de inventario (cagi) de la subred 3 de forma substancial, cerca de 9.000 euros, en tres escenarios del estudio: escenario 0 (8.901 €), escenario 1 (8.814 €) y escenario 3 (8.851 €) (ver tabla 6.24). En el escenario 2 (7.319 €) la reducción del coste anual de gestión de inventario es menor, aunque no deja de ser bastante significativa.

Canal	Agente	Componente	Escenario 0		Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
			PSV	PSN	PSV	PSN	PSV	PSN	PSV	PSN
P3C2	Fabricante	P3C2	15.479	15.003	16.714	16.041	17.740	17.200	19.084	18.316
	12A	12A(1)	9.972	9.656	10.818	10.514	11.404	11.115	12.303	11.840
		12A(2)	9.026	8.610	9.673	9.447	10.237	9.911	10.932	10.604
		12A(3)	10.209	9.580	10.882	10.550	11.415	11.154	12.334	11.877
		12A(4)	10.116	9.650	10.895	10.477	11.468	11.067	12.211	11.814
	2B	2B	7.496	7.205	8.049	7.804	8.439	8.225	9.032	8.803
	3B	3B	6.116	5.857	6.585	6.363	6.873	6.690	7.409	7.147
	4B	4B	7.239	6.834	7.703	7.449	8.156	7.908	8.695	8.475
	5B	5B	5.887	5.637	6.322	6.109	6.636	6.417	7.067	6.888
Cagi del canal P3C2			81.541	78.033	87.640	84.755	92.368	89.687	99.067	95.765
P3C4	Fabricante	P3C4	22.170	21.332	23.337	22.764	25.063	24.355	26.713	26.231
	14A	14A(1)	16.498	15.827	17.198	16.780	18.440	17.994	19.835	19.388
		14A(2)	16.451	15.906	17.176	16.884	18.337	18.017	19.891	19.399
		14A(3)	16.403	15.800	17.269	16.810	18.358	18.128	19.732	19.347
		14A(4)	16.423	15.858	17.207	16.903	18.363	18.126	19.800	19.425
	6B	6B(1)	12.582	12.436	13.964	12.882	14.063	13.733	15.372	14.878
		6B(2)	13.069	12.712	13.742	13.320	14.528	14.194	15.716	15.297
		6B(3)	12.249	12.044	12.930	12.456	13.596	13.298	14.789	14.483
	7B	7B	10.933	10.728	11.494	11.127	12.205	11.925	13.333	12.952
	8B	8B	13.504	13.376	13.840	13.643	14.265	14.103	15.073	14.792
	9B	9B	11.953	11.613	12.450	12.234	13.243	12.939	14.577	14.202
	1A	1A	9.798	9.551	10.477	10.193	11.054	10.839	11.874	11.568
	2A	2A	7.900	7.689	8.458	8.155	8.897	8.676	9.506	9.306
	1C	1C	8.458	8.278	9.033	8.789	9.545	9.266	10.227	9.948
	2C	2C	9.873	9.720	10.467	10.174	11.079	10.806	11.955	11.627
Cagi del canal P3C4			198.262	192.869	209.042	203.114	221.037	216.399	238.392	232.843
Cagi de la subred 3			279.803	270.902	296.682	287.868	313.405	306.086	337.458	328.608
Mejora operativa			8.901		8.814		7.319		8.851	

Unidades monetarias expresadas en euros (€).

Tabla 6.24. Coste anual de gestión de inventario (en euros/año) de la subred 3.

La reducción del coste anual de gestión de inventario entre PSV y PSN $RVN_{(cagi)}$ para la subred 3 se encuentra en la tabla 6.25. El mínimo $RVN_{(cagi)}$ es de un 2,11% (canal P3C4, escenario 2) y el máximo $RVN_{(cagi)}$ es de un 4,30% (canal P3C2, escenario 0).

Canal	Escenario 0	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
P3C2	4,30%	3,29%	2,90%	3,31%
P3C4	2,72%	2,84%	2,11%	2,33%

Tabla 6.25. Reducción (%) del coste anual de gestión de inventario entre PSV y PSN $RVN_{(cagi)}$ para la subred 3.

6.8. Análisis integral de la Cadena de Suministro en los escenarios del estudio.

En este apartado se pretende evaluar el impacto de la estrategia global en la mejora del rendimiento integral de la Cadena de Suministro (CS) de esta investigación. El análisis integral del sistema se realiza con los resultados de los escenarios simulados (ver apartados 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 y 6.7) y con las estructuras fabricante-suministrador que forman la CS total. La nomenclatura contenida en la tabla 6.26 sirve para identificar las estructuras fabricante-suministrador de la forma siguiente: la estructura integrada por el fabricante (F) y un suministrador (1) utiliza la nomenclatura F+1; la nomenclatura F+5 identifica la estructura formada por el fabricante (F) y cinco suministradores (5).

Subred	Nomenclatura	Estructura de la CS			
		Fabricante	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
1	F+1	F +	3A	-	-
	F+1	F +	4A		
	F+2	F +	7A+	1B	
2	F+1	F +	2A	-	-
	F+1	F +	5A		
	F+2	F +	10A	1B	
3	F+5	F +	12A+	2B	-
				3B	
				4B	
				5B	
	F+9	F +	14A+	6B+	1A
					2A
					1C
			7B+	2C	
			8B	-	
			9B		

Tabla 6.26. Nomenclatura para las estructuras organizativas de la CS.

6.8.1. Análisis integral de la Cadena de Suministro en el escenario 0.

Los resultados del estudio indican que la estrategia global de suministro contrarresta de forma significativa el Efecto *Bullwhip* (EB) en la CS (ver tabla 6.27). El EB disminuye entre un 17,32% y un 28,03% en la estructura compuesta por el fabricante-un suministrador (F+1). El EB disminuye hasta un 24,37% en la estructura fabricante-dos suministradores (F+2). El EB disminuye en la estructura F+5 un 17,67% y en la estructura F+9 disminuye en mayor medida, un 25,82%. Concluimos que en el escenario 0 el EB disminuye entre un 17,32% y un 28,03% en la CS estudiada.

El número de pedidos en la estructura F+1 se reduce, en al menos, un 29,89%. En la estructura F+2 la cantidad de pedidos disminuye un 32,20% como mínimo. Para la estructura F+5 la reducción de la cantidad de pedidos es de un 19,22% y en la estructura F+9 es de un 24,20%. En resumen, la estrategia global de suministro reduce el número de pedidos de la CS en un 19,22% como mínimo y en un 43,28% como máximo.

Las existencias anuales de F+1 disminuyen entre un 8,08% y un 10,18% y en F+2 la reducción varía entre un 6,18% y un 7,67%. Las existencias anuales de las estructuras F+5 y F+9 disminuyen en un 8,36% y un 4,91% respectivamente. Resumiendo, las existencias anuales de la CS disminuyen, como mínimo, casi un 5% (estructura F+9) en el escenario 0.

El inventario medio de la estructura F+1 se reduce, en al menos, un 22,33% y como máximo en un 30,78%. La mínima disminución de inventario medio en la estructura F+2 es de un 22,35% y la máxima disminución llega a un 25,47%. Las estructuras F+5 y F+9 logran reducir su inventario medio en un 36,08% y en un 26,47% respectivamente. Se puede decir que el inventario medio de la CS se reduce, como mínimo, en un 22,33% (estructura F+1) con la estrategia de suministro propuesta en esta tesis.

El inventario máximo de la estructura F+1 disminuye, en al menos, un 25,35% pudiendo llegar a un 33,64%. La disminución de inventario máximo en la estructura F+2 se encuentra entre un 30% y un 37% en números redondos. Las estructuras F+5 y F+9 presentan la mayor disminución de inventario máximo con un 37,83% y un 33,09% respectivamente. De acuerdo con los datos de la tabla 6.27 se puede afirmar que la disminución de inventario máximo en la CS va de un 25% a un 38% en números redondos.

La estrategia global de suministro reduce el coste anual de gestión de inventario de la estructura F+1 entre un 3,82% y un 4,76%. La reducción del coste anual de gestión de inventario de la estructura F+2 es de alrededor de un 3,50%. La reducción del coste anual en la estructura F+5 es de un 4,28%, mientras que en la estructura F+9 la reducción es de un 2,38%. Se concluye que la reducción del coste anual de gestión de inventario de la CS es de, como mínimo, un 2,38% (estructura F+9).

Finalmente, la estrategia global de suministro garantiza que el plazo de entrega de la CS se cumple al 100% en el escenario 0.

Subred	F+agentes	Intensidad del EB	Número de pedidos	Existencias anuales	Inventario medio	Inventario máximo	Coste anual de gestión	Plazo de entrega
1	F+1	27,46%	32,61%	8,64%	22,33%	27,49%	4,53%	100%
	F+1	17,32%	29,89%	10,18%	26,20%	25,35%	4,76%	
	F+2	24,37%	32,20%	6,18%	22,35%	30,25%	3,33%	
2	F+1	31,27%	43,28%	8,18%	30,24%	33,64%	3,82%	100%
	F+1	28,03%	42,25%	8,08%	30,78%	29,25%	3,87%	
	F+2	19,92%	43,84%	7,67%	25,47%	37,09%	3,69%	
3	F+5	17,67%	19,22%	8,36%	36,08%	37,83%	4,28%	100%
	F+9	25,82%	24,20%	4,91%	26,47%	33,09%	2,38%	

Tabla 6.27. Mejora del rendimiento de la CS analizada (escenario 0).

6.8.2. Análisis integral de la Cadena de Suministro en el escenario 1.

La estrategia global de suministro contrarresta de forma substancial el impacto del EB en la CS. El EB disminuye en la estructura F+1 entre un 24% y un 34%, en números redondos, mientras que en la estructura F+2 disminuye entre un 21% y un 29% (ver tabla 6.28). En las estructuras F+5 y F+9 el EB disminuye en alrededor de un 24%. La estrategia de suministro reduce la volatilidad de la demanda en las estructuras F+1 y F+2 entre un 26% y un 44% y en las estructuras F+5 y F+9 en alrededor de un 26% (ver tabla 6.28).

El nivel de existencias anuales de la estructura F+1 disminuye entre un 7,43% y un 9,57%, mientras que en F+2 se reduce entre un 7,59% y un 10,45%. En las estructuras F+5 y F+9 la reducción de las existencias anuales es de un 6,61% y un 5,44% respectivamente. Se concluye que la estrategia global de suministro reduce las existencias anuales de la CS en, al menos, un 5,44% (estructura F+9).

La estrategia global de suministro disminuye el inventario medio de la estructura F+1 entre un 19,50% y un 33,12% y en la estructura F+2 disminuye en alrededor de un 22%. La reducción de inventario medio para la estructura F+5 es de un 31,55% y para la estructura F+9 es de un 26,28%. Por lo tanto, el inventario medio de la CS disminuye, como mínimo, un 19,50% (estructura F+1).

El inventario máximo de la estructura F+1 disminuye un 23,38% como mínimo, pudiendo alcanzar un 41,59% como máximo. La estructura F+2 disminuye el inventario máximo entre un 24% y un 32%, en números redondos. El inventario máximo de las estructuras F+5 (32,89%) y F+9 (28,31%) disminuye de forma substancial con la estrategia global propuesta. En conclusión, se puede afirmar que el inventario máximo de la CS disminuye, como mínimo, un 23,38% (estructura F+1).

El coste anual de gestión de inventario de la estructura F+1 disminuye entre un 3,82% y un 4,39%, mientras que el de F+2 se reduce entre un 3,74% y un 4,77%. El coste de gestión de F+5 y F+9 se reduce en alrededor de un 3%. En conclusión, el coste anual de gestión de inventario de la CS disminuye, como mínimo, un 2,62% (estructura F+9). Los resultados indican que los plazos de entrega a lo largo de la CS se cumplen al 100% en el escenario 1.

Subred	F+agentes	Intensidad del EB	Número de pedidos	Existencias anuales	Inventario medio	Inventario máximo	Coste anual de gestión	Plazo de entrega
1	F+1	34,27%	26,37%	9,57%	23,98%	23,38%	4,12%	100%
	F+1	23,97%	35,05%	7,43%	19,50%	30,55%	4,39%	
	F+2	21,60%	26,99%	10,45%	21,46%	23,96%	4,77%	
2	F+1	31,50%	43,48%	7,95%	33,12%	41,59%	3,82%	100%
	F+1	28,74%	45,21%	8,44%	21,49%	25,87%	4,08%	
	F+2	29,34%	44,06%	7,59%	22,10%	31,84%	3,74%	
3	F+5	26,60%	24,58%	6,61%	31,55%	32,89%	3,36%	100%
	F+9	22,04%	28,31%	5,44%	26,28%	28,31%	2,62%	

Tabla 6.28. Mejora del rendimiento de la CS analizada (escenario 1).

6.8.3. Análisis integral de la Cadena de Suministro en el escenario 2.

La estrategia global de suministro aminora en gran medida el EB en la CS. El EB disminuye en la estructura F+1 en un 15,86% como mínimo, pudiendo llegar a un 35,01% como máximo (ver tabla 6.29). En la estructura F+2 la reducción del EB va de un 20,78% a un 27,35%, mientras que en las estructuras F+5 y F+9 el EB disminuye en alrededor de un 20%. Se concluye que el EB disminuye a lo largo de la CS, como mínimo, un 15,86% (estructura F+1).

La estrategia global disminuye el número de pedidos en la estructura F+1 entre un 30% y un 41% en números redondos. En la estructura F+2 la cantidad de pedidos se reduce entre un 35% y un 41%, mientras que en las estructuras F+5 y F+9 disminuye en correspondencia a un 26,21% y un 33,32%. Se concluye que la cantidad de pedidos disminuye en la CS en, al menos, un 26,21% (estructura F+5).

La estrategia de global de suministro reduce las existencias anuales de la estructura F+1 entre un 4,53%, como mínimo, y un 9,60%, como máximo. En la estructura F+2, las existencias anuales disminuyen entre un 5,04% y un 9,04%. Las existencias anuales de las estructuras F+5 y F+9 disminuyen en alrededor de un 5%.

La estrategia global reduce el inventario medio de la estructura F+1 entre un 20,07% y un 29,21% y de F+2 entre un 18,73% y un 33,61%. El inventario medio disminuye en F+5 en un 27,15%, mientras que en F+9 disminuye en un 19,25%. El inventario máximo de F+1 se reduce en, al menos, un 20,11% y de F+2 en un 22,75% como mínimo. Las estructuras F+1 y F+2 llegan a reducir su inventario máximo hasta en un 37% y las estructuras F+5 y F+9 en alrededor de un 31%.

La estrategia global de suministro reduce el coste anual de gestión de inventario de las estructuras F+1 y F+2 entre un 2% y un 5% en números redondos. El coste anual de gestión de inventario disminuye en la estructura F+5 en un 2,91% y en la estructura F+9 en un 2,23%.

La estrategia global garantiza el cumplimiento del plazo de entrega de la CS en un 100% en el escenario 2.

Subred	F+agentes	Intensidad del EB	Número de pedidos	Existencias anuales	Inventario medio	Inventario máximo	Coste anual de gestión	Plazo de entrega
1	F+1	24,53%	30,11%	9,60%	20,45%	28,20%	4,36%	100%
	F+1	15,86%	34,74%	9,05%	20,07%	20,11%	4,96%	
	F+2	27,35%	34,87%	9,04%	18,73%	22,75%	4,63%	
2	F+1	35,01%	40,28%	4,91%	27,78%	37,30%	2,28%	100%
	F+1	20,53%	36,84%	4,53%	29,21%	34,64%	2,02%	
	F+2	20,78%	41,06%	5,04%	33,61%	36,08%	2,36%	
3	F+5	17,25%	26,21%	5,71%	27,15%	30,35%	2,91%	100%
	F+9	22,26%	33,32%	4,60%	19,25%	32,40%	2,23%	

Tabla 6.29. Mejora del rendimiento de la CS analizada (escenario 2).

6.8.4. Análisis integral de la Cadena de Suministro en el escenario 3.

La estrategia global de suministro mitiga de forma efectiva el EB en la CS. El EB disminuye en la estructura F+1 en un 13,93% y en F+2 en un 25,87%, como mínimo (ver tabla 6.30). El EB disminuye en la estructura F+5 en un 29,65% y en la estructura F+9 en un 21,14%.

La estrategia global reduce substancialmente el número de pedidos de la estructura F+1 (entre un 21,51% y un 40,01%) y de la estructura F+2 (entre un 24,59% y un 35,90%). La cantidad de pedidos disminuye en la estructura F+5 en un 22,79% y en la estructura F+9 en un 37,03%.

Las existencias anuales de la estructura F+1 disminuyen entre un 4,56% y un 6,72%, mientras que en la estructura F+2 la reducción varía entre un 4,69% y un 5,30%. Las estructuras F+5 y F+9 reducen sus existencias anuales en correspondencia a un 6,13% y a un 4,97%.

El inventario medio de la estructura F+1 se reduce en un 18,16% como mínimo, que puede llegar a un 29,87% como máximo. La estructura F+2 disminuye su inventario medio entre un 14,41% y un 26,41%. La estrategia global de suministro reduce el inventario medio de la estructura F+5 en un 25,31% y en la estructura F+9 en un 18,10%.

La estrategia global de suministro disminuye el inventario máximo de la estructura F+1 en un 18,62% y de la estructura F+2 en un 21,75%, como mínimo. La reducción de inventario máximo en las estructuras F+1 y F+2 puede llegar a más de un 30%. El inventario máximo de las estructuras F+5 y F+9 disminuye en un 25,17% y en un 20,35% respectivamente.

La estrategia global de suministro reduce el coste anual de gestión de inventario de la estructura F+1 entre un 2,02% y un 3,29%. En la estructura F+2 la reducción del coste de gestión varía entre un 2,36% y un 2,88%. La estrategia global de suministro reduce el coste de gestión de la estructura F+5 en un 3,10% y de la estructura F+9 en un 2,40%.

Los resultados del estudio indican que la estrategia global de suministro garantiza el 100% de las entregas de la CS en el escenario 3.

Subred	F+agentes	Intensidad del EB	Número de pedidos	Existencias anuales	Inventario medio	Inventario máximo	Coste anual de gestión	Plazo de entrega
1	F+1	28,30%	22,68%	6,43%	18,16%	18,62%	3,29%	100%
	F+1	21,00%	21,51%	6,72%	19,18%	19,35%	2,58%	
	F+2	25,87%	24,59%	4,69%	14,41%	21,75%	2,88%	
2	F+1	31,18%	40,01%	4,56%	29,87%	31,98%	2,02%	100%
	F+1	13,93%	37,66%	5,29%	29,78%	37,93%	2,53%	
	F+2	27,83%	35,90%	5,30%	26,41%	32,67%	2,36%	
3	F+5	29,65%	22,79%	6,13%	25,31%	25,17%	3,10%	100%
	F+9	21,14%	37,03%	4,97%	18,10%	20,35%	2,40%	

Tabla 6.30. Mejora del rendimiento de la CS analizada (escenario 3).

6.9. Conclusiones.

A manera de conclusión se presenta una perspectiva integral sobre el impacto de la estrategia global de suministro en el rendimiento de la Cadena de Suministro (CS) analizada. Para ello se utiliza la información contenida en la tabla 6.31 construida con los resultados examinados en el apartado 6.8.

La estrategia global de suministro contrarresta el Efecto *Bullwhip* (EB) de las estructuras fabricante-suministrador en un 13,93% como mínimo, y según el tipo de estructura, puede ser hasta en un 35,01% como máximo. La estrategia global reduce el número de pedidos a lo largo de la CS en, al menos, un 21,51%. En las estructuras F+1 y F+2 esta reducción puede llegar a un 45,21%. La reducción de pedidos en F+5 puede ser de hasta un 26,21% y en F+9 puede llegar hasta un 37,03%. Se concluye que la estrategia global de suministro aminora el EB y reduce la volatilidad de la demanda en la CS estudiada.

Las existencias anuales de la estructura F+1 disminuyen entre un 4,53% y un 10,18%, mientras que en F+2 disminuyen entre un 4,69% y un 9,45%. En las estructuras F+5 y F+9, las más complejas, las existencias disminuyen entre un 4,60% y un 8,36%. El inventario medio de la estructura F+1 disminuye entre un 18,16% y un 33,12%, mientras que en F+2 se reduce entre un 14,41% y un 33,61%. La reducción de inventario medio en F+5 y F+9 varía de un 18,10% a un 36,08%.

El inventario máximo de las estructuras F+1 y F+2 disminuye entre un 18,62% y un 41,59%, mientras que en F+5 y F+9 disminuye un 20,35% como mínimo. La mayor reducción de inventario máximo para F+5 y F+9 es de un 37,83% y un 33,09% respectivamente. En conclusión, la estrategia global de suministro optimiza los niveles de inventario a lo largo de la CS estudiada.

La estrategia global de suministro reduce el coste anual de gestión de inventario de las estructuras F+1 y F+2, las menos complejas, en un 2,02% como mínimo, que puede llegar a un 4,96% en F+1 y a un 4,77% en F+2. En las estructuras F+5 y F+9, las más complejas, la reducción del coste de gestión es de, al menos, un 2,23% que puede alcanzar en F+5 un 4,28% y en F+9 un 2,62%.

Finalmente, se puede afirmar que la estrategia global de suministro diseñada en esta tesis potencia la creación de valor de la CS del mundo real, de acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio.

F+agentes	Intensidad del EB	Número de pedidos	Existencias anuales	Inventario medio	Inventario máximo	Coste anual de gestión
F+1	[13,93-35,01]%	[21,51-45,21]%	[4,53-10,18]%	[18,16-33,12]%	[18,62-41,59]%	[2,02-4,96]%
F+2	[19,92-29,34]%	[24,59-44,06]%	[4,69-10,45]%	[14,41-33,61]%	[21,75-37,09]%	[2,36-4,77]%
F+5	[17,25-29,65]%	[19,22-26,21]%	[5,71-8,36]%	[25,31-36,08]%	[25,17-37,83]%	[2,91-4,28]%
F+9	[21,14-25,82]%	[24,20-37,03]%	[4,60-5,44]%	[18,10-26,47]%	[20,35-33,09]%	[2,23-2,62]%

Tabla 6.31. Intervalos de la mejora del rendimiento global de la CS bajo estudio.

Capítulo 7.

Conclusiones y líneas de investigación futura.

7.1. Introducción.

Las conclusiones de esta investigación se desglosan en tres partes principales. La primera parte contiene las conclusiones sobre los tres primeros temas de este documento: la introducción (capítulo 1), la descripción de la Cadena de Suministro bajo estudio (capítulo 2) y el marco teórico (capítulo 3).

La segunda parte de las conclusiones corresponde a los siguientes temas: el modelo de simulación (capítulo 4) y el diseño y conducción del experimento (capítulo 5). La última parte de las conclusiones trata sobre los resultados globales de la tesis (capítulo 6).

A lo largo de la elaboración de esta tesis se han ido descubriendo nuevas líneas de investigación para futuros trabajos, las cuales se discuten al final de este capítulo.

7.2. Conclusiones de la tesis.

Primera parte.

El capítulo 1 contiene la introducción de la tesis, en la cual se destaca la importancia de la Cadena de Suministro (CS) como una organización enfocada a hacer llegar producto al cliente, con el menor coste y de la forma más sincronizada posible. En este escenario el comportamiento del sistema es dinámico y complejo. Por lo tanto, es indispensable comprender la interacción de los factores que influyen en la operativa del sistema total, con la idea de conocer su impacto en el rendimiento integral de la CS. En la introducción de la tesis se afirma que el claro conocimiento sobre la dinámica del sistema puede derivar, principalmente, en el diseño de estrategias enfocadas a optimizar el funcionamiento de la CS. En este entorno la Gestión de la Cadena de Suministro (GCS) juega un papel preponderante en la coordinación efectiva de los procesos de creación de valor a lo largo del sistema logístico.

En la introducción de la tesis se hace una breve descripción de la CS que se analiza, con el objeto de dar una primera idea sobre la complejidad de su dinámica. Esto da paso a la explicación, de forma general, del método propuesto para lograr el objetivo de esta tesis, esto es, analizar la dinámica de una CS del mundo real a través de un modelo de simulación.

En el capítulo 2 se describe ampliamente la CS del mundo real con especial atención a los siguientes aspectos: el número de agentes que integran la red logística; el volumen de compra de los clientes de la CS; los criterios de operación del suministro en el sistema analizado y las existencias del fabricante y su coste de gestión. También se explican las características de las tres subredes de suministro que integran el sistema total, con el propósito de contar con una amplia panorámica sobre la estructura estática y la estructura dinámica de la CS.

Durante el análisis de la información del sistema se conjetura sobre cómo trasladar la dinámica de la CS a un modelo que simule su comportamiento integral, y también, surgen algunas ideas sobre cómo diseñar y conducir el experimento para poder obtener resultados confiables del estudio. El análisis de la información del sistema genera ciertas cuestiones sobre cómo medir el rendimiento de la CS y cómo mejorar su operativa integral. Estas inquietudes, entre otras más, encuentran respuesta en la aportación de los estudiosos de la GCS.

En el capítulo 3 se revisa la aportación de los estudiosos de la GCS para explorar nuevas estrategias enfocadas a potenciar el rendimiento del sistema objeto de estudio. La comprensión de la literatura ayuda a conceptualizar el funcionamiento de la CS y a conocer diversas estrategias enfocadas a gestionar este tipo sistema organizativo. En este mismo capítulo se discute sobre las causas de la amplificación de la demanda, o Efecto *Bullwhip* (EB), y se examinan a detalle las consecuencias de este fenómeno en la operativa de la CS. También, se analizan las propuestas de los estudiosos sobre cómo medir el EB en la CS. La revisión de la literatura del EB se aprovecha para relacionar la aportación de los estudiosos con la información del sistema bajo estudio, con la idea de asociar los conceptos teóricos a los aspectos dinámicos de la CS que se analiza. Esta asociación ayuda a deducir, desde un enfoque de sistemas, la relación causa-efecto de los numerosos elementos que dinamizan la CS de esta tesis.

La última parte del capítulo 3 corresponde a la medición del rendimiento de la CS, en donde se analizan las ventajas e inconvenientes de la medida de los procesos operativos y financieros de los sistemas logísticos. La revisión de la literatura sirve también para conocer los beneficios y limitantes de las métricas enfocadas a medir el rendimiento de los sistemas logísticos. Se concluye que el contenido del capítulo 3 es fundamental para diseñar la estrategia global de suministro propuesta en esta tesis, así como también, los temas del capítulo son relevantes en el diseño del sistema de medición del rendimiento integral de la CS estudiada.

Segunda parte.

En el capítulo 4 se describe el proceso de confección del modelo de la CS por medio del *software* Promodel[®]. La información recogida del sistema del mundo real (capítulo 2) es la materia prima principal para el diseño y construcción del modelo, cuya arquitectura tiene como referencia las características de las estructuras estática y dinámica de la CS. La codificación de los flujos de información, de componentes y financiero de la CS se realiza en las primeras etapas de construcción del modelo, las cuales consumen una significativa cantidad de tiempo. En las etapas finales de la construcción del modelo se utilizan comandos avanzados del *software* para poder replicar, lo más cercano a la realidad, la complejidad del sistema que se estudia.

Una vez construido el modelo de simulación se procede a verificar y validar su funcionamiento. La verificación del modelo se enfoca, básicamente, a comprobar la lógica operativa de sus instrucciones informáticas. La validación del modelo consiste en comparar los resultados de la simulación con respecto a la información recogida del sistema del mundo real. Se concluye que el modelo de simulación cumple con las exigencias de los procesos de verificación y validación, debido a que arroja resultados consistentes con la dinámica de la CS que se analiza. Por lo tanto, es posible continuar con el siguiente paso del estudio, que corresponde al diseño y conducción del experimento.

En el capítulo 5 se describe el diseño y la conducción del experimento con el modelo de la CS. En el diseño del experimento se caracterizan los escenarios de simulación, y también, se definen las medidas de rendimiento para la CS en estos escenarios. En esta parte del estudio se plantea simular la CS en escenarios con Políticas de Suministro Vigentes (PSV) y con Políticas de Suministro Nuevas (PSN), con la idea de obtener resultados asociados al comportamiento del sistema bajo estas políticas de suministro.

La conducción de experimento se orienta a simular el modelo de la CS con PSV para obtener información sobre su comportamiento actual (apartado 5.3). Esta información se aprovecha para diseñar las PSN que incorpora la estrategia global de suministro propuesta en esta tesis (apartado 5.4). Posteriormente, se replica el modelo con PSN para conocer la dinámica de la CS bajo la estrategia global (ver apartado 5.5). Los resultados de la simulación con PSV y PSN integran la totalidad de los resultados del presente estudio.

Se concluye que los capítulos 4 y 5 representan el traslado de la dinámica del sistema del mundo real al modelo de simulación. La cuidadosa elaboración de estos capítulos es bajo la perspectiva de obtener resultados confiables del estudio, los cuales se analizan en detalle en el capítulo 6 de esta tesis.

Tercera parte.

En el capítulo 6 se analizan los resultados de la simulación de la CS en escenarios con PSV y con PSN. A partir de este análisis se formulan las siguientes conclusiones globales de la tesis.

Existencias anuales.

La estrategia global de suministro reduce las existencias anuales de la CS analizada. La subred 1 tiene una mayor cantidad de existencias anuales con PSV (entre 214.579 y 346.565 unidades) que con PSN (entre 192.757 y 327.174 unidades), es decir, las existencias disminuyen entre un 5,60% y un 10,17% en los escenarios simulados. Las existencias anuales de la subred 2 varían entre 117.436 y 195.267 unidades con PSV, pero disminuyen a valores entre 108.041 y 187.180 unidades con PSN (entre un 4,14% y un 8,02% menos de existencias anuales). Las existencias de la subred 3 son mayores con PSV (entre 128.131 y 219.887 unidades) que con PSN (entre 120.371 y 207.997 unidades), lo que significa que las existencias anuales disminuyen entre un 5,41% y un 6,06% con las políticas propuestas.

Inventario medio y máximo.

La estrategia de suministro reduce el inventario medio y máximo de la CS analizada. El inventario medio de la subred 1 es menor con PSN (entre 2.501 y 7.128 unidades) que con PSV (entre 3.698 y 8.009 unidades), es decir, el inventario medio disminuye entre un 11,01% y un 32,37%. La cantidad de inventario máximo de la subred 1 es menor con PSN (entre 3.074 y 7.867 unidades) que con PSV (entre 4.580 y 9.147 unidades), lo que representa una reducción de inventario máximo de entre un 13,99% y un 32,88%.

El inventario medio de la subred 2 es menor con PSN (entre 2.635 y 5.997 unidades) que con PSV (entre 3.987 y 7.308 unidades), es decir, entre un 18,21% y un 33,91% menos de inventario. El inventario máximo de la subred 2 es menor con PSN (3.184 y 6.557 unidades) que con PSV (entre 4.710 y 8.447 unidades). Esto significa que el inventario máximo disminuye entre un 22,37% y un 32,40%.

La subred 3 con PSV tiene un inventario medio que varía entre 3.515 y 11.808 unidades y un inventario máximo que varía entre 4.677 y 14.748 unidades. La subred 3 con PSN reduce el inventario medio a valores de entre 2.184 y 9.994 unidades y el inventario máximo a valores de entre 2.743 y 11.772 unidades. Por lo tanto, la estrategia global de suministro reduce el inventario medio entre un 17,25% y un 41,18% y reduce, también, el inventario máximo entre un 20,18% y un 41,35% en los escenarios simulados.

Intensidad del Efecto *Bullwhip*.

La estrategia global de suministro reduce de forma significativa la intensidad del Efecto *Bullwhip* (EB) de la CS en los cuatro escenarios del estudio. La estrategia global reduce el EB de la subred 1 entre un 15,86% y un 34,27% y de la subred 2 entre un 12,65% y un 35,01%. El EB de la subred 3 disminuye en mayor medida, entre un 8,71% y un 43,34%.

Número de pedidos.

La estrategia global de suministro reduce la volatilidad de la demanda de la CS en los cuatro escenarios simulados. La cantidad de pedidos de la subred 1 se aminora entre un 16,46% y un 30,25%. La cantidad de pedidos de la subred 2 disminuye entre un 14,20% y un 26,38%, mientras que el número de pedidos de la subred 3 se reduce entre un 11,98% y un 28,40%.

Plazos de entrega.

La estrategia global de suministro reduce el plazo de entrega de la mayoría de los agentes de las subredes del sistema total. La subred 1 disminuye su plazo de entrega entre un 2,13% y un 6,77%. La subred 2 reduce su plazo de entrega entre un 4,63% y un 13,40%, mientras que la subred 3 disminuye su plazo de entrega entre un 1,72% y un 15,45%.

El estudio indica que algunos agentes tienen un menor plazo de entrega con las actuales políticas que con las nuevas propuestas. Pero de acuerdo con los resultados, las políticas actuales incrementan el inventario de la CS, y en consecuencia, aumenta su coste operativo integral (ver apartados 6.2 y 6.3). Los siguientes agentes tienen un plazo de entrega más corto con PSV que con PSN: el agente 1B de la subred 1 (escenario 0, un 7,14%); el agente 2A de la subred 2 (escenario 2, un 17,17%) y el agente 12A de la subred 3 (escenario 1, un 21,39%).

Coste de gestión de inventario.

La estrategia global reduce el coste anual de gestión de inventario de la CS entre un 2,02% y un 5,55% en los escenarios simulados, independientemente de la subred estudiada.

La conclusión final de la tesis es que la dinámica operativa de una CS del mundo real depende de la interrelación de sus estructuras estática y dinámica, y también, del enfoque de gestión de la capacidad de sus agentes. En el diseño de la estrategia global de suministro propuesta en esta tesis se consideran estos elementos, cuya interacción es beneficiosa en mejorar la operativa de la CS analizada, según los resultados del estudio. Cabe mencionar que en la construcción de la estrategia global se aprovechan los flujos de información, de componentes y financiero del sistema, con la idea de sincronizar la capacidad de los agentes de forma efectiva. Los resultados del estudio confirman que la estrategia global de suministro potencia de forma substancial el rendimiento de la CS de esta tesis.

7.3. Líneas de investigación futura.

Durante el desarrollo de esta investigación han surgido las siguientes líneas de investigación futura:

Simulación del sistema del mundo real con nuevos elementos logísticos.

Una primera línea de investigación sería incorporar ciertos elementos a los escenarios del estudio, para determinar su grado de influencia en la operativa de la Cadena de Suministro (CS). La actividad de los operadores logísticos podría ser uno de estos elementos, el cual ayudaría a conocer el impacto del tiempo de transporte de las mercancías en el cumplimiento de su plazo de entrega.

Entre los elementos que podría incluir esta primera línea de investigación se encuentra la medición del tiempo de recepción y almacenaje de los productos. El análisis de la duración de estas actividades logísticas ayudaría a determinar su repercusión en el plazo de entrega del suministro. Esta extensión del estudio puede derivar en conocer los beneficios de los sistemas RFID (*Radio Frequency Identification*) en la CS.

Análisis coste-beneficio del rediseño de una estrategia global de suministro en una CS real como la estudiada.

Esta línea de investigación se orientaría al rediseño y simulación de la estrategia global de suministro en un sistema como el analizado en este trabajo. El objetivo sería determinar el número de canales de suministro que conviene incluir en la estrategia global, para conocer qué tan beneficioso es optimizar una mayor cantidad o incluso la totalidad de los canales del sistema logístico. El indicador para determinar el alcance de esta estrategia sería el nivel de reducción del coste operativo de la CS en función del número de canales optimizados.

Mejora del suministro con las técnicas JIT y VMI en el sistema analizado.

Esta línea de investigación trataría de mejorar la operativa de la CS analizada por medio de las técnicas JIT (*Just In Time*) y VMI (*Vendor Management Inventory*). El desarrollo de esta línea de investigación podría presentar diversas etapas de experimentación. Una primera etapa consistiría en utilizar las técnicas JIT y VMI con el fabricante y los proveedores del primer nivel de la CS. Las etapas subsecuentes se enfocarían a incorporar a los proveedores del segundo y tercer nivel, conforme haya avances en la optimización del flujo de materiales en el sistema.

Esta tercera línea de investigación involucraría el diseño de un sistema de selección de proveedores, cuya meta sería identificar a los agentes con disposición de mejorar la operativa del suministro. También, este sistema ayudaría a medir la aportación de los proveedores en la creación de valor en la CS.

Suministro de productos semiterminados al fabricante principal.

Esta línea de investigación buscaría planificar la elaboración de subensambles entre los suministradores de la CS, para proveer una suma de componentes ensamblados al fabricante principal. De esta forma podría disminuir la variedad del tipo de componentes recibidos por el fabricante.

Esta última línea de investigación tendría como paso inicial la planificación del subensamble de componentes entre dos o más agentes del primer nivel. Posteriormente, se extendería esta planificación a otros niveles de la CS de forma sistemática. El suministro de productos semiterminados al fabricante principal tendría como objetivo principal la optimización del coste anual de gestión de inventario de la CS estudiada.

Referencias.

- Amit, S. & Subhash, D. (2005) Review of supply chain management and logistics research. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, **35**, 664-705.
- Ballou, R.H. (2007) The evolution and future of logistics and supply chain management. *European Business Review*, **19**, 332-348.
- Beamon, B.M. (1999) Measuring supply chain performance. *International Journal of Operations & Production Management*, **9**, 275-292.
- Berry, D., Towill, D.R. & Wadsley, N. (1994) Supply Chain Management in the Electronics Industry. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, **24**, 20-32.
- Bigliardi, B. & Bottani, E. (2010) Performance measurement in the food supply chain: a balanced scorecard approach. *Facilities*, **28**, 249-260.
- Burbidge, J.L. (1985) Automated Production Control with a Simulation Capability. IFIP Conference WG 5-7. City. p. 1-14.
- Coppini, M., Rossignoli, C., Rossi, T. & Strozzi, F. (2010) Bullwhip effect and inventory oscillations analysis using the beer game model. *International journal of production research*, **48**, 3943-3957.
- Chatfield, D.C., Kim, J.G., Harrison, T.P. & Hayya, J.C. (2004) The bullwhip effect – impact of stochastic lead time, information quality, and information sharing: A simulation study. *Production and Operations Management Science*, **13**, 340-353.
- Chen, F., Drezner, Z., Ryan, J.K. & Simchi-Levi, D. (2000) Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: The impact of forecasting, lead times, and information. *Management Science*, **46**, 436 - 443.
- Chen, I. & Paulraj, A. (2004) Towards a theory of supply chain management: the constructs and measurements. *Journal of Operations Management*, **22**, 119-150
- Christopher, M. & Towill, D. (2001) An integrated model for the design of agile supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics management*, **31**, 235-246.
- Dejonckheere, J., Disney, S.M., Lambrecht, M.R. & Towill, D.R. (2003) Measuring and avoiding the bullwhip effect: A control theoretic approach. *European Journal of Operational Research*, **147**, 567 - 590.
- Ellram, L.M. (1991) Supply Chain Management: The Industrial Organisation Perspective. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, **21**, 13-22.
- Forrester, J.W. (1958) Industrial dynamics, a major breakthrough for decision makers. *Harvard Business Review*, **36**, 37-66.
- Gavirneni, S., Kapuscinski, R. & Tayur, S. (1999) Value of information in capacitated supply chain. *Management Science*, **45**, 16-24.
- Geary, S., Disney, S.M. & Towill, D.R. (2006) On bullwhip in supply chains-historical review, present practice and expected future impact. *International Journal of Production Economics*, **101**, 2 - 18.

- Gunasekaran, A., Patel, C. & Tirtiroglu, E. (2001) Performance measures and metrics in a supply chain environment. *International Journal of Operations & Production Management*, **21**, 71-87.
- Jones, T.C. & Riley, D.W. (1985) Using Inventory for Competitive Advantage through Supply Chain Management. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, **15**, 16-27.
- Kaplan, R.K. & Norton, D.P. (1996) *The Balanced Scorecard: Traslating Strategy into Action*. Boston: Harvard Business School Press.
- Kennerley, M. & Neely, A. (2003) Measuring performance in a changing business environment. *International Journal of Operations & Production Management*, **23**, 213-242.
- Lambert, D.M. & Cooper, M.C. (2000) Issues in Supply Chain Management. *Industrial Marketing Management*, **29**, 65-83.
- Lee, H.L., Padmanabhan, V. & Whang, S. (1997a) The Bullwhip effect in supply chains. *Sloan Management Review*, **38**, 93-102.
- Lee, H.L., Padmanabhan, V. & Whang, S. (1997b) Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect. *Management Science*, **43**, 546-559.
- Lummus, R.R. & Vokurka, R.J. (1999) Defining supply chain management: a historical perspective and practical guidelines. *Industrial Management & Data Systems*, **99**, 11-17.
- Mentzer, J.T., DeWitt, W., Min, S., Nix, N.W., Smith, C.D. & Zacharia, Z. (2001) Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, **22**, 1-26.
- Metz, P.J. (1998) Demystifying Supply Chain Management. *Supply Chain Management Review*, **1**, 46-55.
- Min, S. & Mentzer, J.T. (2000) The Role of Marketing in Supply Chain Management. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, **30**, 765-787.
- Miragliotta, G. (2006) Layers and mechanisms: A new taxonomy for the Bullwhip Effect. *International Journal of Production Economics*, **14**, 365-381.
- Neely, A., Gregory, M. & Platts, K. (2005) Performance measurement system design. *International Journal of Operations & Production Management*, **25**, 1228-1263.
- Ou, C.S., Liu, F.C., Hung, Y.C. & Yen, D.C. (2010) A structural model of supply chain management on firm performance. *International Journal of Operations & Production Management*, **30**, 526-545.
- Shapiro, J.F. (2004) Strategic Planning: now more important than ever. *supply Chain Management Review*, 13-14.
- Shepherd, C. & Gunter, H. (2006) Measuring supply chain performance: current research and future directions. *International Journal of Productivity and Performance Management*, **55**, 242-258.
- Svensson, G. (2005) The multiple facets of the bullwhip effect: refined and re-refined. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Manegement*, **35**.
- Tan, K.C., Kannan, V.R. & Handfield, R.B. (1998) Supply Chain Management: Supplier Performance and Firm Performance. *International Journal of Purchasing and Materials Management*, **34**, 2-9.

Taylor, D.H. (1999) Measurement and analysis of demand amplification across the supply chain. *International Journal of Logistics Management*, **10**, 55-70.

Warburton, R.D. (2004) An Analytical Investigation of the Bullwhip Effect. *Production and Operations Management Society*, **13**, 150-160.

Zhang, X. (2004) The impact of forecasting methods on the bullwhip effect. *International Journal of Production Economics*, **88**, 15-27.

Zwolinski, K. (2011) Measurement of supply chain relationships, fact or fiction? *Strategic Direction*, **27**.

Anexo A.

Información de las ventas (continúa).

MESES	DÍAS HÁBILES DEL AÑO																						
GENER	2	3	4	5	6	9	10	11	12	13	16	17	18	19	20	23	24	25	26	27	30	31	
PEDIDOS			960			1.680			300					240	420	420	420	420	500	500	240	650	
FEBRER	1	2	3	6	7	8	9	10	13	14	15	16	17	20	21	22	23	24	27	28			
PEDIDOS	600	480	480	800	720	960	910	960	960	720	720	1200	720	960	960	960	720	300	1.680	960			
MARç	1	2	3	6	7	8	9	10	13	14	15	16	17	20	21	22	23	24	27	28	29	30	31
PEDIDOS	720	960	960	960	960	960	960	960	960	720	720	960	720	240	480	480	480	480	720	1200	960	1.200	720
ABRIL	3	4	5	6	7	10	11	12	13	17	18	19	20	21	24	25	26	27	28				
PEDIDOS	960	720	320	960	960	720	960				720	480	960	1680	960	960	720	1200					
MAIG	1	2	3	4	5	8	9	10	11	12	15	16	17	18	19	22	23	24	25	26	29	30	31
PEDIDOS	960	960	960	240			1.680	1440	720	960	240	240	1.680	1200	1.680	960	960			1.200	960	1200	720
JUNY	1	2	5	6	7	8	9	12	13	14	15	16	19	20	21	22	23	26	27	28	29	30	
PEDIDOS	1.680		960	960	720	1.440	1.440	1.680	1.680	2.160	1.920	1.920	1.440	1.200	1.920	1.920	1.680	1.440	1.200	1.680	1.440	1.440	
JULIOL	3	4	5	6	7	10	11	12	13	14	17	18	19	20	21	24	25	26	27	28			
PEDIDOS	1.680	1.440	1.680	2.160	1.680	1.440	1.200	1.440		1.680	1.680	1.920	1.920	1.440	1.920	1.440	1.440	1.440	1.920	480			
AGOST	1	2	3	28	29	30	31																
PEDIDOS				1.440			960																
SETEMBRE	1	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15	18	19	20	21	22	25	26	27	28	29		
PEDIDOS						480	1.440	960	1.440			1.440	1.200	960	720	960	1.200	960	720	960	720		
OCTUBRE	2	3	4	5	6	9	10	11	12	13	16	17	18	19	20	23	24	25	26	27	30	31	
PEDIDOS	1.200	1.440	1.440	1.680	1.440	1.920	960	1.200		960	1.680	1.680	1.200	960	720	480	960	720					
NOVEMBRE	1	2	3	6	7	8	9	10	13	14	15	16	17	20	21	22	23	24	27	28	29	30	
PEDIDOS				240		480		240	720	720	720		480	480	240	480		240	480	240	480	480	
DECEMBRE	1	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15	18	19	20	21	22							
PEDIDOS	480	1.200		720			1.440	1.440	1.200	720			960										

Tabla A1. Ventas del producto 1 (en unidades de producto).

Anexo A.

Información de las ventas (continúa).

MESES	DÍAS HÁBILES DEL AÑO																						
GENER	2	3	4	5	9	10	11	12	13	16	17	18	19	20	23	24	25	26	27	30	31		
PEDIDOS			310		940		1.990	480				2.400			2.240		300		1.220				
FEBRER	1	2	3	6	7	8	9	10	13	14	15	16	17	20	21	22	23	24	27	28			
PEDIDOS	970			170		400			1.520	120					150			1.120		1.520			
MARç	1	2	3	6	7	8	9	10	13	14	15	16	17	20	21	22	23	24	27	28	29	30	31
PEDIDOS		530			310			600	2.240	800					1.200	940	300		400	120			2.200
ABRIL	3	4	5	6	7	10	11	12	18	19	20	21	24	25	26	27	28						
PEDIDOS	1.220		800		2.010				1.320	400			2.400				1.000						
MAIG	2	3	4	5	8	9	10	11	12	15	16	17	18	19	22	23	24	25	26	29	30	31	
PEDIDOS	2.400	2.000	800	2.400	2.400	800	490				1.220		2.400		120						1.290	2.400	
JUNY	1	2	5	6	7	8	9	12	13	14	15	16	19	20	21	22	23	26	27	28	29	30	
PEDIDOS					2.400	490							2.240										
JULIOL	3	4	5	6	7	10	11	12	13	14	17	18	19	20	21	24	25	26	27	28	31		
PEDIDOS		800	1.200	400		690	1.940	890			1.510					480	180						
AGOST	1	2	3	28	29	30	31																
PEDIDOS					800		680																
SETEMBRE	4	5	6	7	8	12	13	14	15	18	19	20	21	22	25	26	27	28	29				
PEDIDOS		1.170	280			2.010			300				620	1.240	1.510				150				
OCTUBRE	2	3	4	5	6	9	10	11	16	17	18	19	20	23	24	25	26	27	30	31			
PEDIDOS	1.000	500	1.250			910		1.240				1.510					550	1.630	120				
NOVEMBRE	6	7	8	9	10	13	14	15	16	17	20	21	22	23	24	27	28	29	30				
PEDIDOS	180		2.010			800			940				1.810		310								
DECEMBRE	1	4	5	11	12	13	14	15	18	19	20	21	22										
PEDIDOS	2.400		470		1.170		2.400		310			2.240											

Tabla A2. Ventas del producto 2 (en unidades de producto).

Anexo A.

Información de las ventas (continúa).

MESES	DÍAS HÁBILES DEL AÑO																						
GENER	2	3	4	5	9	10	11	12	13	16	17	18	19	20	23	24	25	26	27	30	31		
PEDIDOS		1.930			1.400			1.500	1.660	1.500	830			1.970				2.600					
FEBRER	1	2	3	6	7	8	9	10	13	14	15	16	17	20	21	22	23	24	27	28			
PEDIDOS	1.300			1.500			1.930			800				1.270			1.500						
MARç	1	2	3	6	7	8	9	10	13	14	15	16	17	20	21	22	23	24	27	28	29	30	31
PEDIDOS				1.350					1.660			800			1.400				1.700			2.600	
ABRIL	3	4	5	6	7	10	11	12	18	19	20	21	24	25	26	27	28						
PEDIDOS		1.500				800						1.770	2.600	1.610									
MAIG	2	3	4	5	8	9	10	11	12	15	16	17	18	19	22	23	24	25	26	29	30	31	
PEDIDOS			1.400			1.500				1.350			800		2.600	810					2.600		
JUNY	1	2	5	6	7	8	9	12	13	14	15	16	19	20	21	22	23	26	27	28	29	30	
PEDIDOS	800				800			1.300				1.500					1.400	1.600	1.300				
JULIOL	3	4	5	6	7	10	11	12	13	14	17	18	19	20	21	24	25	26	27	28	31		
PEDIDOS		1.930			1.500			1.350			1.660			800			1.770	1.630					
AGOST	1	2	3	28	29	30	31																
PEDIDOS				1.700		1.970																	
SETEMBRE	4	5	6	7	8	12	13	14	15	18	19	20	21	22	25	26	27	28	29				
PEDIDOS	1.270	1.700	1.710			1.970				1.500				1.930			1.350						
OCTUBRE	2	3	4	5	6	9	10	11	16	17	18	19	20	23	24	25	26	27	30	31			
PEDIDOS			800			1.300			1.700	1.500	1.500				920			1.660					
NOVEMBRE	6	7	8	9	10	13	14	15	16	17	20	21	22	23	24	27	28	29	30				
PEDIDOS		1.930			1.700		800		1.400		1.600	1.600	800			1.270			2.600				
DECEMBRE	1	4	5	11	12	13	14	15	18	19	20	21	22										
PEDIDOS	1.700			1.350			197			1.500			1.660										

Tabla A3. Ventas del producto 3 (en unidades de producto).

Anexo A.

Información de las ventas (continúa).

PRODUCTO 1			
Tamaño del pedido en unidades de producto	Frecuencia de pedido	Porcentaje	Porcentaje acumulado
240	11	5,95%	5,95%
300	2	1,08%	7,03%
320	1	0,54%	7,57%
420	4	2,16%	9,73%
480	18	9,73%	19,46%
500	2	1,08%	20,54%
600	1	0,54%	21,08%
650	1	0,54%	21,62%
720	28	15,14%	36,76%
800	1	0,54%	37,30%
910	1	0,54%	37,84%
960	45	24,32%	62,16%
1.200	17	9,19%	71,35%
1.440	23	12,43%	83,78%
1.680	19	10,27%	94,05%
1.920	9	4,86%	98,92%
2.160	2	1,08%	100,00%

Tabla A4. Concentrado de las ventas del producto 1.

Anexo A.

Información de las ventas (continúa).

PRODUCTO 2			
Tamaño del pedido en unidades de producto	Frecuencia de pedido	Porcentaje	Porcentaje acumulado
120	4	4,49%	4,49%
150	2	2,25%	6,74%
170	1	1,12%	7,87%
180	2	2,25%	10,11%
280	1	1,12%	11,24%
300	3	3,37%	14,61%
310	4	4,49%	19,10%
400	4	4,49%	23,60%
470	1	1,12%	24,72%
480	2	2,25%	26,97%
490	2	2,25%	29,21%
500	1	1,12%	30,34%
530	1	1,12%	31,46%
550	1	1,12%	32,58%
600	1	1,12%	33,71%
620	1	1,12%	34,83%
680	1	1,12%	35,96%
690	1	1,12%	37,08%
800	7	7,87%	44,94%
890	1	1,12%	46,07%
910	1	1,12%	47,19%
940	3	3,37%	50,56%
970	1	1,12%	51,69%
1.000	2	2,25%	53,93%
1.120	1	1,12%	55,06%
1.170	2	2,25%	57,30%
1.200	2	2,25%	59,55%
1.220	3	3,37%	62,92%
1.240	2	2,25%	65,17%
1.250	1	1,12%	66,29%
1.290	1	1,12%	67,42%
1.320	1	1,12%	68,54%
1.510	3	3,37%	71,91%
1.520	2	2,25%	74,16%
1.630	1	1,12%	75,28%
1.810	1	1,12%	76,40%
1.940	1	1,12%	77,53%
1.990	1	1,12%	78,65%
2.000	1	1,12%	79,78%
2.010	3	3,37%	83,15%
2.200	1	1,12%	84,27%
2.240	4	4,49%	88,76%
2.400	10	11,24%	100,00%

Tabla A5. Concentrado de las ventas del producto 2.

Anexo A.

Información de las ventas.

PRODUCTO 3			
Tamaño del pedido en unidades de producto	Frecuencia de pedido	Porcentaje	Porcentaje acumulado
197	1	1,32%	1,32%
800	10	13,16%	14,47%
810	1	1,32%	15,79%
830	1	1,32%	17,11%
920	1	1,32%	18,42%
1.270	3	3,95%	22,37%
1.300	4	5,26%	27,63%
1.350	5	6,58%	34,21%
1.400	5	6,58%	40,79%
1.500	12	15,79%	56,58%
1.600	3	3,95%	60,53%
1.610	1	1,32%	61,84%
1.630	1	1,32%	63,16%
1.660	5	6,58%	69,74%
1.700	6	7,89%	77,63%
1.710	1	1,32%	78,95%
1.770	2	2,63%	81,58%
1.930	5	6,58%	88,16%
1.970	3	3,95%	92,11%
2.600	6	7,89%	100,00%

Tabla A6. Concentrado de las ventas del producto 3.

MES	Días hábiles	PRODUCTO 1		PRODUCTO 2		PRODUCTO 3	
		Frecuencia de pedido	Unidades vendidas	Frecuencia de pedido	Unidades vendidas	Frecuencia de pedido	Unidades vendidas
Enero	21	12	6.750	8	9.880	8	13.390
Febrero	20	20	16.770	8	5.970	6	8.300
Marzo	23	23	18.480	11	9.640	6	9.510
Abril	17	15	13.280	7	9.150	5	8.280
Mayo	22	19	18.960	12	18.720	7	11.060
Junio	22	21	31.920	3	5.130	7	8.700
Julio	21	19	30.000	9	8.090	7	10.640
Agosto	7	2	2.400	2	1.480	2	3.670
Septiembre	19	14	14.160	8	7.280	7	11.430
Octubre	20	17	20.640	9	8.710	7	9.380
Noviembre	19	15	6.720	6	6.050	9	13.700
Diciembre	13	8	8.160	6	8.990	5	6.407
Total	224	185	188.240	89	99.090	76	114.467

Tabla A7. Concentrado de las ventas de los productos 1, 2 y 3.

Anexo B.

Resultados de la simulación del modelo con Políticas de Suministro Vigentes (PSV) (continúa).

Agente	Componente	Escenario 0			Escenario 1		
		Existencias anuales	Inventario		Existencias anuales	Inventario	
			Medio	Máximo		Medio	Máximo
Fabricante	P1C3	214.579	3.911	5.304	237.647	4.822	6.068
	P1C4	219.042	3.698	4.580	233.663	4.568	5.963
	P1C7	205.522	3.840	5.502	235.519	4.648	5.574
3A	3A	227.934	5.556	6.858	249.973	6.160	7.331
4A	4A	227.051	5.705	6.506	245.685	5.702	6.987
10A	10A	214.528	5.700	6.410	248.796	5.682	6.808
1B	1B	229.752	6.384	7.426	251.111	7.101	8.276
Agente	Componente	Escenario 2			Escenario 3		
		Existencias anuales	Inventario		Existencias anuales	Inventario	
			Medio	Máximo		Medio	Máximo
Fabricante	P1C3	268.287	5.193	6.491	321.059	5.949	7.234
	P1C4	266.316	5.321	5.781	320.076	5.750	6.732
	P1C7	267.351	5.208	6.716	319.544	5.907	7.483
3A	3A	279.058	6.878	7.969	333.806	7.300	8.700
4A	4A	281.842	6.678	7.525	335.613	7.237	8.444
10A	10A	278.338	6.559	7.725	330.903	7.173	8.155
1B	1B	294.182	7.765	8.553	346.565	8.009	9.147

Cantidades expresadas en unidades de componentes.

Tabla B1. Resultados de la simulación de la subred 1 con PSV.

Agente	Componente	Escenario 0			Escenario 1		
		Existencias anuales	Inventario		Existencias anuales	Inventario	
			Medio	Máximo		Medio	Máximo
Fabricante	P2C1	120.501	4.107	5.160	138.889	4.565	6.543
	P2C4	117.436	3.987	4.710	135.216	4.470	5.397
	P2C7	118.348	4.381	5.339	137.615	4.091	5.981
2A	2A	122.837	5.175	6.706	143.441	5.644	6.943
5A	5A	124.473	5.633	6.541	145.530	5.779	6.574
10A	10A	120.792	4.545	6.035	142.921	5.915	6.961
1B	1B	124.335	5.247	7.048	146.632	6.765	7.872
Agente	Componente	Escenario 2			Escenario 3		
		Existencias anuales	Inventario		Existencias anuales	Inventario	
			Medio	Máximo		Medio	Máximo
Fabricante	P2C1	162.385	4.801	5.938	184.902	5.534	6.800
	P2C4	154.471	4.475	5.973	179.418	5.158	6.680
	P2C7	163.358	4.273	5.746	193.285	5.055	6.488
2A	2A	169.719	5.014	6.460	194.979	6.650	7.727
5A	5A	169.033	6.113	6.959	195.267	6.167	7.974
10A	10A	163.654	5.315	6.419	191.339	6.132	7.756
1B	1B	165.871	6.262	7.558	190.558	7.308	8.447

Cantidades expresadas en unidades de componentes.

Tabla B2. Resultados de la simulación de la subred 2 con PSV.

Anexo B.

Resultados de la simulación del modelo con Políticas de Suministro Vigentes (PSV) (continúa).

Agente	Componente	Escenario 0			Escenario 1		
		Existencias anuales	Inventario		Existencias anuales	Inventario	
Medio	Máximo		Medio	Máximo			
Fabricante	P3C2	128.131	3.515	4.677	149.390	3.944	4.965
12A	12A(1)	132.594	3.650	4.526	156.043	4.338	5.110
	12A(2)	135.790	4.189	5.181	155.934	4.873	6.088
	12A(3)	138.971	3.883	4.162	157.878	4.300	4.965
	12A(4)	136.437	3.972	5.024	158.272	4.368	5.239
2B	2B	144.093	4.010	5.003	166.110	4.866	5.583
3B	3B	143.890	4.394	5.613	166.765	5.190	6.223
4B	4B	145.558	4.559	5.577	164.829	4.719	5.664
5B	5B	144.380	4.592	5.627	166.526	4.930	5.589
Fabricante	P3C4	131.415	3.069	4.358	145.616	3.513	6.621
14A	14A(1)	137.460	3.753	5.080	149.384	4.898	6.757
	14A(2)	136.682	3.647	5.834	148.999	5.903	8.800
	14A(3)	135.888	3.227	5.422	150.529	6.149	8.038
	14A(4)	136.212	3.618	6.078	149.534	5.530	7.896
6B	6B(1)	141.347	5.222	6.764	159.467	5.881	9.400
	6B(2)	143.521	5.208	8.895	158.684	5.951	8.809
	6B(3)	142.883	4.885	7.086	159.219	5.911	8.148
7B	7B	142.292	5.545	8.370	157.283	7.634	9.973
8B	8B	144.689	4.678	7.924	159.890	8.788	10.427
9B	9B	145.789	4.889	7.506	158.160	7.052	9.600
1A	1A	147.693	6.679	9.490	168.884	7.828	10.768
2A	2A	148.593	6.887	9.810	170.338	7.813	10.808
1C	1C	149.044	6.749	8.351	169.975	7.749	9.986
2C	2C	149.964	6.734	9.525	168.556	8.833	10.363

Cantidades expresadas en unidades de componentes.

Tabla B3. Resultados de la simulación de la subred 3 con PSV (escenarios 0 y 1).

Anexo B.

Resultados de la simulación del modelo con Políticas de Suministro Vigentes (PSV).

Agente	Componente	Escenario 2			Escenario 3		
		Existencias anuales	Inventario		Existencias anuales	Inventario	
Medio	Máximo		Medio	Máximo			
Fabricante	P3C2	168.294	4.434	5.912	194.751	5.468	6.657
12A	12A(1)	173.392	4.883	6.214	201.833	5.742	6.953
	12A(2)	174.664	5.375	6.469	199.196	5.999	6.311
	12A(3)	173.725	5.254	5.908	202.850	5.773	5.964
	12A(4)	175.356	4.823	6.478	198.798	5.920	6.701
2B	2B	182.610	5.227	6.677	209.173	5.975	7.203
3B	3B	181.701	5.761	6.861	211.103	6.442	7.293
4B	4B	184.798	5.846	6.772	209.993	6.688	7.539
5B	5B	183.461	5.795	6.868	208.105	6.117	7.286
Fabricante	P3C4	167.954	4.115	7.146	190.799	6.573	9.815
14A	14A(1)	171.738	5.218	7.481	198.697	7.974	11.995
	14A(2)	169.821	5.789	9.908	199.832	7.910	10.766
	14A(3)	170.208	5.542	8.699	196.633	8.483	11.233
	14A(4)	170.307	5.881	7.680	197.994	8.947	11.986
6B	6B(1)	176.585	6.493	9.089	210.989	9.278	12.881
	6B(2)	177.355	6.749	9.478	207.544	9.293	12.897
	6B(3)	176.058	6.580	9.393	208.314	9.308	12.927
7B	7B	177.329	6.934	10.370	211.622	9.545	12.425
8B	8B	179.148	7.229	10.418	215.782	9.174	12.571
9B	9B	178.949	7.052	9.895	216.812	9.707	12.601
1A	1A	187.996	8.903	11.769	216.896	11.550	14.748
2A	2A	188.486	8.073	12.156	215.164	11.373	13.793
1C	1C	189.821	8.048	11.900	217.882	11.785	14.815
2C	2C	188.849	8.033	12.943	219.887	11.808	13.861

Cantidades expresadas en unidades de componentes.

Tabla B4. Resultados de la simulación de la subred 3 con PSV (escenarios 2 y 3).

Anexo C.

Resultados de la simulación del modelo con Políticas de Suministro Nuevas (PSN) (continúa).

Agente	Componente	Escenario 0			Escenario 1		
		Existencias anuales	Inventario		Existencias anuales	Inventario	
			Medio	Máximo		Medio	Máximo
Fabricante	P1C3	195.267	2.713	3.700	216.259	3.280	4.100
	P1C4	192.757	2.501	3.074	212.633	3.562	3.802
	P1C7	194.970	2.613	3.396	211.967	3.318	3.984
3A	3A	209.603	4.777	5.162	225.976	5.176	6.280
4A	4A	208.075	4.561	5.347	232.117	4.735	5.250
10A	10A	203.785	4.619	4.217	224.916	4.643	5.163
1B	1B	210.479	5.355	6.069	229.411	5.861	6.686
Agente	Componente	Escenario 2			Escenario 3		
		Existencias anuales	Inventario		Existencias anuales	Inventario	
			Medio	Máximo		Medio	Máximo
Fabricante	P1C3	238.775	3.881	4.369	295.374	4.650	5.312
	P1C4	237.021	4.120	4.503	294.470	4.393	5.207
	P1C7	237.942	4.226	4.846	303.980	4.562	4.828
3A	3A	256.771	5.803	6.079	317.902	6.243	7.771
4A	4A	262.221	5.505	6.162	317.308	6.169	7.088
10A	10A	256.137	5.194	5.953	319.022	6.495	6.869
1B	1B	271.280	6.482	7.059	327.174	7.128	7.867

Cantidades expresadas en unidades de componentes.

Tabla C1. Resultados de la simulación de la subred 1 con PSN.

Agente	Componente	Escenario 0			Escenario 1		
		Existencias anuales	Inventario		Existencias anuales	Inventario	
			Medio	Máximo		Medio	Máximo
Fabricante	P2C1	110.861	2.635	3.372	129.167	2.889	3.496
	P2C4	108.041	2.641	3.248	124.399	3.709	3.951
	P2C7	110.064	2.887	3.184	126.606	3.541	3.775
2A	2A	114.238	3.860	4.517	131.966	3.977	4.402
5A	5A	115.760	4.069	4.744	133.887	4.279	4.933
10A	10A	111.921	3.310	3.672	132.917	4.130	4.756
1B	1B	115.145	4.452	4.811	136.368	5.229	5.748
Agente	Componente	Escenario 2			Escenario 3		
		Existencias anuales	Inventario		Existencias anuales	Inventario	
			Medio	Máximo		Medio	Máximo
Fabricante	P2C1	154.266	3.138	3.734	177.506	3.334	4.138
	P2C4	148.292	2.983	3.520	170.447	3.229	3.907
	P2C7	155.190	2.902	3.482	183.621	3.142	3.772
2A	2A	162.930	3.965	4.038	187.180	5.322	5.810
5A	5A	162.271	4.580	4.996	185.503	4.830	5.236
10A	10A	157.108	3.451	4.141	181.772	4.715	5.135
1B	1B	157.577	4.231	5.035	182.935	5.977	6.557

Cantidades expresadas en unidades de componentes.

Tabla C2. Resultados de la simulación de la subred 2 con PSN.

Anexo C.

Resultados de la simulación del modelo con Políticas de Suministro Nuevas (PSN) (continúa).

Agente	Componente	Escenario 0			Escenario 1		
		Existencias anuales	Inventario		Existencias anuales	Inventario	
Medio	Máximo		Medio	Máximo			
Fabricante	P3C2	120.371	2.184	2.751	137.607	2.708	3.271
12A	12A(1)	124.312	2.212	2.743	147.400	3.250	3.926
	12A(2)	123.565	2.788	3.225	148.758	2.936	3.758
	12A(3)	122.364	2.706	3.267	148.406	2.907	3.403
	12A(4)	124.158	2.636	2.990	146.359	2.825	3.256
2B	2B	133.124	2.359	2.996	156.143	3.784	4.281
3B	3B	131.957	2.712	3.499	155.727	3.483	4.218
4B	4B	129.728	3.263	3.798	154.119	3.260	3.618
5B	5B	132.413	2.901	3.349	155.500	3.217	3.593
Fabricante	P3C4	121.675	2.540	3.073	138.560	2.929	4.274
14A	14A(1)	126.519	2.826	3.491	142.201	3.706	4.637
	14A(2)	127.780	2.968	3.484	143.977	4.955	6.834
	14A(3)	126.079	2.539	3.372	142.722	4.563	6.075
	14A(4)	127.014	2.829	3.807	144.290	3.950	5.599
6B	6B(1)	138.079	3.509	4.807	148.155	3.957	4.824
	6B(2)	135.784	3.538	4.706	149.086	4.665	5.764
	6B(3)	138.140	3.530	4.871	147.775	3.678	5.781
7B	7B	137.017	3.707	4.893	147.393	5.761	7.889
8B	8B	138.890	3.440	4.472	150.979	6.410	8.433
9B	9B	137.609	3.414	4.472	152.726	4.639	6.731
1A	1A	140.333	5.009	7.264	159.831	5.931	7.504
2A	2A	140.748	4.989	7.034	158.350	6.879	8.831
1C	1C	142.750	4.959	6.191	160.919	4.947	6.926
2C	2C	145.343	4.976	7.066	159.251	5.863	6.809

Cantidades expresadas en unidades de componentes.

Tabla C3. Resultados de la simulación de la subred 3 con PSN (escenarios 0 y 1).

Anexo C.

Resultados de la simulación del modelo con Políticas de Suministro Nuevas (PSN).

Agente	Componente	Escenario 2			Escenario 3		
		Existencias anuales	Inventario		Existencias anuales	Inventario	
Medio	Máximo		Medio	Máximo			
Fabricante	P3C2	158.196	3.278	3.983	179.398	3.788	4.448
12A	12A(1)	164.722	3.761	4.592	186.903	4.595	5.364
	12A(2)	163.718	3.615	4.421	187.424	4.672	5.282
	12A(3)	165.896	3.753	4.154	188.099	4.271	4.911
	12A(4)	163.291	3.804	4.326	186.092	4.515	5.236
2B	2B	173.479	4.024	4.925	198.714	4.944	5.940
3B	3B	172.122	3.845	4.903	196.437	4.907	5.509
4B	4B	173.710	3.992	4.984	199.513	4.750	5.475
5B	5B	171.574	4.169	4.683	197.700	4.956	5.735
Fabricante	P3C4	158.599	3.561	4.817	183.975	5.128	6.566
14A	14A(1)	163.532	3.737	5.285	189.837	5.949	7.139
	14A(2)	163.951	4.724	7.269	190.066	5.779	9.935
	14A(3)	165.981	4.840	5.928	189.048	6.028	9.634
	14A(4)	165.934	4.631	6.157	190.566	6.433	9.120
6B	6B(1)	168.380	5.313	6.306	197.636	7.075	9.297
	6B(2)	169.300	5.396	7.415	196.646	7.284	9.570
	6B(3)	168.407	5.530	6.588	199.759	7.066	9.285
7B	7B	169.300	5.588	6.665	199.695	7.408	10.731
8B	8B	171.818	5.330	6.329	203.057	8.934	10.114
9B	9B	170.842	5.195	6.854	205.818	8.184	10.439
1A	1A	180.756	6.453	7.934	205.878	9.524	11.733
2A	2A	179.203	7.167	9.254	206.216	9.994	11.720
1C	1C	178.856	6.675	7.264	206.158	9.537	11.751
2C	2C	179.649	6.989	8.285	207.997	9.551	11.772

Cantidades expresadas en unidades de componentes.

Tabla C4. Resultados de la simulación de la subred 3 con PSN (escenarios 2 y 3).

Anexo D.

Resultados de la medición del Efecto *Bullwhip*.

Subred	Agente	Componente	Escenarios							
			0		1		2		3	
			PSV	PSN	PSV	PSN	PSV	PSN	PSV	PSN
1	3A	3A	2,59	1,88	2,69	1,77	2,30	1,73	2,54	1,82
	4A	4A	2,73	2,25	2,63	2,00	2,50	2,11	2,60	2,06
	10A	10A	2,60	1,90	2,49	1,90	2,46	1,89	2,37	1,74
	1B	1B	2,64	2,07	2,72	2,19	2,69	1,85	2,64	1,97
2	2A	2A	2,72	1,87	2,57	1,76	2,73	1,77	2,67	1,83
	5A	5A	2,54	1,83	2,06	1,46	2,86	2,27	2,57	2,21
	10A	10A	2,83	2,19	2,58	1,77	2,41	2,11	2,75	2,00
	1B	1B	2,42	2,01	2,27	1,65	2,81	1,99	2,86	2,05
3	12A	12A(1)	2,04	1,48	2,09	1,46	2,37	1,78	2,45	1,76
		12A(2)	2,78	1,95	2,71	1,57	2,80	1,92	2,35	1,93
		12A(3)	2,64	2,13	2,64	1,97	2,44	2,23	2,42	1,90
		12A(4)	2,92	2,15	2,35	1,83	2,77	2,10	2,35	1,86
	2B	2B	2,58	1,98	2,71	1,98	2,68	2,13	2,83	1,99
	3B	3B	2,57	2,24	2,12	1,90	2,68	2,37	2,26	1,81
	4B	4B	2,78	2,45	2,62	1,66	2,43	1,89	2,59	1,47
	5B	5B	2,72	2,31	2,14	1,52	2,59	2,33	2,30	1,54
	14A	14A(1)	2,06	1,84	2,20	1,70	1,68	1,49	2,68	1,71
		14A(2)	2,58	1,83	2,13	1,86	2,30	1,71	2,34	1,94
		14A(3)	2,06	1,61	2,57	1,84	2,30	1,73	2,16	1,61
		14A(4)	2,18	1,62	2,18	1,77	2,55	1,89	2,35	1,97
	6B	6B(1)	2,43	1,93	2,30	1,73	2,20	1,62	2,27	1,75
		6B(2)	2,01	1,53	2,35	1,65	2,43	1,79	2,24	1,86
		6B(3)	2,33	1,87	2,30	1,86	2,27	1,67	2,09	1,70
	7B	7B	2,11	1,38	2,38	2,10	2,41	2,15	2,43	2,05
	8B	8B	2,01	1,34	2,43	1,90	2,74	2,06	2,56	2,10
	9B	9B	2,06	1,55	2,41	1,83	2,37	2,02	2,64	2,06
	1A	1A	2,76	2,04	2,72	1,94	2,37	1,61	2,57	2,03
	2A	2A	2,15	1,60	2,58	2,07	2,55	2,23	2,75	1,89
1C	1C	2,21	1,74	2,70	2,11	2,42	1,68	2,61	2,16	
2C	2C	2,57	1,97	2,87	2,13	2,85	2,10	2,81	2,19	

PSV: Políticas de Suministro Vigentes; PSN: Políticas de Suministro Nuevas.

Tabla D1. Efecto *Bullwhip* (oscilaciones anuales de inventario) en la Cadena de Suministro.

Anexo E.

Resultados de la medición del número de pedidos.

Subred	Agente	Componente	Escenarios							
			0		1		2		3	
			PSV	PSN	PSV	PSN	PSV	PSN	PSV	PSN
1	Fabricante	P1C3	86	69	91	74	97	74	110	79
		P1C4	75	63	79	64	84	61	87	73
		P1C7	82	61	86	71	97	70	101	83
	3A	3A	70	53	71	54	78	62	86	70
	4A	4A	96	67	99	78	104	83	117	89
	7A	7A	82	68	92	68	93	73	102	83
	1B	1B	75	61	80	61	84	62	94	73
2	Fabricante	P2C1	83	62	90	72	97	74	101	78
		P2C4	81	60	90	72	93	80	102	80
		P2C7	78	57	81	62	89	74	96	81
	2A	2A	85	68	93	76	103	85	112	92
	5A	5A	75	56	77	59	87	70	89	76
	10A	10A	74	58	78	65	81	64	91	71
	1B	1B	76	57	85	67	88	75	98	77
3	Fabricante	P3C2	77	59	72	64	79	68	87	75
	12A	12A(1)	62	51	69	50	72	52	75	58
		12A(2)	55	43	59	48	63	49	69	53
		12A(3)	61	50	69	52	71	56	77	56
		12A(4)	61	51	66	53	70	59	73	61
	2B	2B	54	43	58	43	59	46	64	49
	3B	3B	43	34	47	38	49	39	54	42
	4B	4B	57	43	60	45	63	49	68	56
	5B	5B	45	33	47	39	50	40	55	45
	Fabricante	P3C4	92	72	100	75	104	79	110	83
	14A	14A(1)	84	63	91	73	93	70	102	82
		14A(2)	87	68	90	70	97	72	103	82
		14A(3)	82	65	89	67	93	80	99	77
		14A(4)	85	63	89	72	96	77	102	82
	6B	6B(1)	71	54	79	60	80	69	87	69
		6B(2)	71	53	76	56	80	58	87	67
		6B(3)	75	63	81	61	84	71	93	77
	7B	7B	71	55	77	58	79	66	89	68
	8B	8B	47	35	50	36	56	43	67	48
	9B	9B	80	62	82	66	85	72	97	71
1A	1A	72	52	76	56	77	63	86	68	
2A	2A	53	40	57	43	58	48	62	49	
1C	1C	67	48	68	54	73	56	81	60	
2C	2C	70	52	75	57	78	62	85	72	

PSV: Políticas de Suministro Vigentes; PSN: Políticas de Suministro Nuevas.

Tabla E1. Número de pedidos de la Cadena de Suministro.

Anexo F.

Resultados de la medición del plazo de entrega.

Subred	Agente	Escenarios							
		0		1		2		3	
		PSV	PSN	PSV	PSN	PSV	PSN	PSV	PSN
1	3A	2,81	2,74	2,66	2,48	2,77	2,81	2,63	2,75
	4A	2,63	2,51	2,79	2,71	2,55	2,59	2,78	2,66
	7A	2,51	2,58	2,61	2,67	2,72	2,65	2,55	2,47
	1B	2,38	2,55	2,58	2,69	2,82	2,76	2,73	2,87
2	2A	2,43	2,67	2,31	2,54	1,98	2,32	2,66	2,51
	5A	2,77	2,51	2,05	1,89	2,73	2,87	2,82	2,61
	10A	2,39	2,53	2,27	2,41	2,35	2,23	1,94	1,68
	1B	2,59	2,47	2,63	2,29	2,75	2,52	2,58	2,75
3	12A	2,87	2,73	1,87	2,27	2,33	1,97	2,55	2,73
	2B	1,58	1,79	2,08	1,84	2,19	2,45	2,25	2,38
	3B	3,49	3,61	3,81	3,65	3,32	3,55	3,82	3,48
	4B	1,92	1,73	2,04	1,92	2,58	2,26	2,22	1,94
	5B	2,51	2,36	2,44	2,76	2,16	1,83	2,19	2,38
	14A	2,25	2,35	2,39	2,33	2,61	2,54	2,69	2,43
	6B	1,54	1,81	2,36	2,58	2,69	2,53	2,65	2,88
	7B	2,81	2,74	2,42	2,29	2,50	2,65	2,79	2,72
	8B	2,22	2,54	2,50	2,71	2,47	2,85	2,64	2,73
	9B	2,30	2,09	2,21	2,16	2,75	2,63	2,17	2,11
	1A	3,88	3,67	3,36	3,28	3,21	3,08	3,61	3,35
	2A	1,91	1,77	2,59	2,75	2,61	2,32	2,37	2,24
	1C	2,37	2,48	1,96	2,05	2,58	2,33	2,70	2,79
2C	1,94	1,83	2,33	2,29	2,44	2,57	2,59	2,77	

PSV: Políticas de Suministro Vigentes; PSN: Políticas de Suministro Nuevas.

Tabla F1. Plazo de entrega (días) de los agentes de la Cadena de Suministro.

Producto	Escenarios							
	0		1		2		3	
	PSV	PSN	PSV	PSN	PSV	PSN	PSV	PSN
1	8,84	9,20	9,51	9,45	8,32	8,51	8,75	9,13
2	8,57	8,22	7,84	7,76	7,99	7,62	8,54	8,27
3	8,71	9,02	9,51	9,42	9,17	8,99	8,32	8,44

PSV: Políticas de Suministro Vigentes; PSN: Políticas de Suministro Nuevas.

Tabla F2. Plazo de entrega (días) del fabricante.

Anexo G.

Resultados del coste anual de gestión de inventario.

Subred	Canal	Agente	Componente	Escenario 0		Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
				PSV	PSN	PSV	PSN	PSV	PSN	PSV	PSN
1	P1C3	Fabricante	P1C3	18.060	17.228	19.006	18.130	20.194	19.051	22.091	21.189
		3A	3A	12.078	11.540	12.648	12.188	13.364	12.955	14.616	14.251
	P1C4	Fabricante	P1C4	13.645	13.348	14.093	13.859	15.046	14.773	16.494	16.438
		4A	4A	19.704	18.259	20.497	19.038	21.953	20.171	23.956	22.799
	P1C7	Fabricante	P1C7	16.092	15.584	17.227	16.368	18.354	17.281	20.066	19.262
		7A	7A	14.351	13.987	15.455	14.694	16.346	15.681	17.823	17.500
		1B	1B	11.343	10.857	11.858	11.334	12.835	12.325	13.931	13.536
2	P2C1	Fabricante	P2C1	14.563	13.968	15.635	15.078	16.906	16.477	18.040	17.675
		2A	2A	10.397	10.026	11.235	10.776	12.221	11.974	13.099	12.834
	P2C4	Fabricante	P2C4	17.031	16.336	18.275	17.529	19.533	19.138	21.051	20.518
		5A	5A	7.889	7.608	8.530	8.182	9.193	9.008	9.881	9.631
	P2C7	Fabricante	P2C7	14.184	13.679	15.295	14.671	16.665	16.243	18.127	17.668
		10A	10A	9.326	8.977	10.144	9.783	10.855	10.636	11.737	11.440
		1B	1B	5.900	5.678	6.408	6.179	6.815	6.642	7.305	7.157
3	P3C2	Fabricante	P3C2	15.479	15.003	16.714	16.041	17.740	17.200	19.084	18.316
		12A	12A(1)	9.972	9.656	10.818	10.514	11.404	11.115	12.303	11.840
			12A(2)	9.026	8.610	9.673	9.447	10.237	9.911	10.932	10.604
			12A(3)	10.209	9.580	10.882	10.550	11.415	11.154	12.334	11.877
			12A(4)	10.116	9.650	10.895	10.477	11.468	11.067	12.211	11.814
		2B	2B	7.496	7.205	8.049	7.804	8.439	8.225	9.032	8.803
		3B	3B	6.116	5.857	6.585	6.363	6.873	6.690	7.409	7.147
		4B	4B	7.239	6.834	7.703	7.449	8.156	7.908	8.695	8.475
	5B	5B	5.887	5.637	6.322	6.109	6.636	6.417	7.067	6.888	
	P3C4	Fabricante	P3C4	22.170	21.332	23.337	22.764	25.063	24.355	26.713	26.231
		14A	14A(1)	16.498	15.827	17.198	16.780	18.440	17.994	19.835	19.388
			14A(2)	16.451	15.906	17.176	16.884	18.337	18.017	19.891	19.399
			14A(3)	16.403	15.800	17.269	16.810	18.358	18.128	19.732	19.347
			14A(4)	16.423	15.858	17.207	16.903	18.363	18.126	19.800	19.425
		6B	6B(1)	12.582	12.436	13.964	12.882	14.063	13.733	15.372	14.878
			6B(2)	13.069	12.712	13.742	13.320	14.528	14.194	15.716	15.297
			6B(3)	12.249	12.044	12.930	12.456	13.596	13.298	14.789	14.483
		7B	7B	10.933	10.728	11.494	11.127	12.205	11.925	13.333	12.952
		8B	8B	13.504	13.376	13.840	13.643	14.265	14.103	15.073	14.792
		9B	9B	11.953	11.613	12.450	12.234	13.243	12.939	14.577	14.202
		1A	1A	9.798	9.551	10.477	10.193	11.054	10.839	11.874	11.568
		2A	2A	7.900	7.689	8.458	8.155	8.897	8.676	9.506	9.306
		1C	1C	8.458	8.278	9.033	8.789	9.545	9.266	10.227	9.948
		2C	2C	9.873	9.720	10.467	10.174	11.079	10.806	11.955	11.627

PSV: Políticas de Suministro Vigentes; PSN: Políticas de Suministro Nuevas. Unidades monetarias expresadas en euros (€).

Tabla G1. Coste anual de gestión de inventario (euros/año) de los agentes de la CS.