



Universidad de Oviedo
FACULTAD DE ECONOMÍA Y EMPRESA

GRADO EN ADMINISTRACIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS BILINGÜE

CURSO 2019/2020

TRABAJO FIN DE GRADO

**“GESTIÓN DE DISRUPCIONES EN CADENAS DE SUMINISTRO:
UN ESTUDIO DE SIMULACIÓN”**

ALEJANDRO RÍO GARCÍA

Oviedo, 7 de Julio 2020

“GESTIÓN DE DISRUPCIONES EN CADENAS DE SUMINISTRO: UN ESTUDIO DE SIMULACIÓN”

En este trabajo voy a evaluar cómo una disrupción afecta a una cadena de suministro global formada por un fabricante, un distribuidor, un minorista, y el cliente, y si mediante la aplicación de las denominadas ‘políticas de abastecimiento amortiguado’ podemos atenuar el impacto de la disrupción sobre el cliente. A lo largo del proyecto desarrollaré una parte teórica en la que se explicaran los conceptos clave en torno a las bases del funcionamiento y la gestión de las cadenas de suministro, y una parte práctica en la que simularé el comportamiento de la cadena de suministro en distintos escenarios. El modelo será desarrollado y simulado mediante el software Microsoft Excel, mientras que para el análisis estadístico utilizaré el software MATLAB. Finalmente, concluiré el proyecto extrayendo conclusiones relevantes para los profesionales en este ámbito.

“DISRUPTION MANAGEMENT IN SUPPLY CHAINS: A SIMULATION STUDY”

In this work I will evaluate how a disruption affects a global supply chain formed by a manufacturer, a distributor, a retailer, and the customer. Also, I will explore whether the so-called ‘smoothing replenishment rules’ are useful instruments to mitigate the impact of the disruption on customer service. In the project, I will first include a theoretical study that discusses the key concepts around the operation and the management of supply chains. Later, I will carry out a practical study that simulates the behaviour of the supply chain under different scenarios. The model will be developed and simulated by using Microsoft Excel, while the statistical study will be performed in MATLAB. Last, I will identify relevant implications of this study for supply chain professionals.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
1.1 Objetivo del trabajo	5
2. LA CADENA DE SUMINISTRO	7
PARTE PRIMERA: LA CADENA DE SUMINISTRO Y SU GESTIÓN	7
2.1 Definición	7
2.2 Componentes de la cadena de suministro	8
2.3.1 Definición	9
2.3.2 Diseño de la cadena de suministro.....	9
2.3.3 Decisiones de planificación	10
2.5 Decisiones de operaciones	13
PARTE SEGUNDA: OBJETIVOS DE GESTIÓN EN LA CADENA DE SUMINISTRO	14
2.6 La resiliencia	14
2.7 Costes de la resiliencia	15
2.8 La problemática actual en las cadenas de suministro	16
2.8.1 El efecto Bullwhip	17
2.8.2 El Efecto “Ripple”	17
2.9 La gestión de riesgos en la cadena de suministro	18
3. DESCRIPCIÓN DEL MODELO	20
3.1 Introducción	20
3.2 Descripción formal del modelo	21
3.3 Indicadores	23
4. DISEÑO EXPERIMENTAL	29
4.1 Introducción	29
4.2 Factores controlables vs incontrolables	29
4.3 Presentación del diseño de experimentos	30
5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	34
6. CONCLUSIONES	40
7. BIBLIOGRAFÍA	42

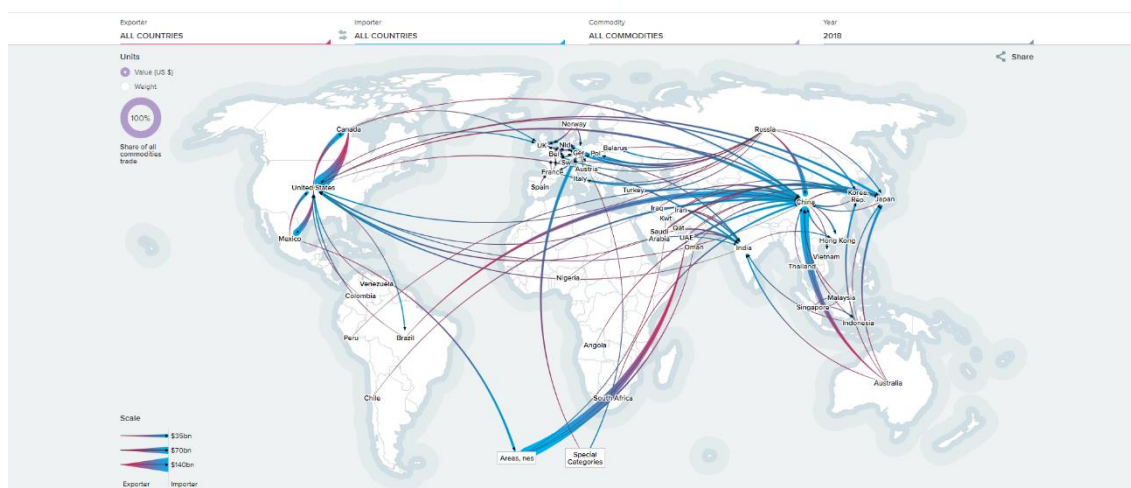
1. INTRODUCCIÓN

Tras la reciente crisis del Covid-19 hemos visto como nuestro sistema se tambaleaba, las cadenas de suministro globales se han visto deterioradas y en muchos puntos se ha perdido el abastecimiento. La globalización puede ser devastadora en crisis de carácter mundial. A lo largo de este trabajo iremos desarrollando cómo podemos atenuar estos efectos mediante el uso de políticas apropiadas de gestión de inventarios; para ello desarrollaremos un modelo genérico que nos permitirá considerar la problemática general en la gestión de los flujos de materiales e información en las cadenas de suministro.

Hoy en día los países están más cerca que nunca unos de otros, la globalización ha propiciado la creación de cientos de nuevas rutas comerciales, nuevos tratados de comercio y una mejora en las relaciones entre los distintos países.

Podemos observar a continuación algunas de las principales rutas comerciales en la ilustración 1.

Ilustración 1: Las principales rutas comerciales en el mundo en 2018.



Fuente: Chatamhouse.org

Todos los efectos de la globalización mencionados anteriormente han promovido un importantísimo desarrollo en los países y unas tasas de crecimiento nunca antes vistas. Con el comercio liderando el motor económico del crecimiento el ser humano ha experimentado en general un claro aumento del bienestar nunca imaginado.

Es importante darse cuenta de que a la vez que se producía este crecimiento y esta mayor interconexión entre los países, las complejidades de las cadenas de suministro aumentaban también casi de forma exponencial debido, entre otros factores, a la necesidad de gestionar redes logísticas con tiempos de suministro mucho más elevados, considerar distancias culturales y administrativas significativas entre los distintos nodos de la cadena de suministro, y de adaptarse a un entorno altamente dinámico en el que los requisitos del consumidor evolucionan rápidamente.

A menudo en las cadenas de suministro que no están adecuadamente gestionadas aparecen ineficiencias que elevan los costes de forma significativa. Algunas de las principales ineficiencias son las causadas por el denominado efecto “Bullwhip” (o efecto

“látigo”), que se refiere a la amplificación de la variabilidad de la demanda transmitida a lo largo de la cadena de suministro, desde el cliente hasta los nodos de fabricación.

Los costes del efecto látigo vienen entre otras causas derivados de la excesiva amplificación de la demanda que produce, algunos de estos efectos son:

- Aumento en el tiempo de suministro.
- Pérdidas de stock.
- Obsolescencia en el stock.
- Costes derivados de la sobrecapacidad de almacenamiento.

Como consecuencia de este aumento de complejidad ha sido necesario el desarrollo de mecanismos de gestión que nos permiten superar los problemas derivados de esta situación que se va dificultando a lo largo del tiempo, haciendo de la gestión de la cadena de distribución una verdadera ciencia de estudio.

Por otro lado, este importante crecimiento ha generado algunos efectos colaterales negativos. Entre estos efectos podemos mencionar algunos como:

- El aumento en la polución global, derivado en gran medida de los medios de transporte utilizados (aviones, barcos, trenes...).
- Aumento en las tensiones diplomáticas entre países participantes del comercio. Recientemente hemos visto la escalada de tensión entre Estados Unidos y la República Popular China.
- La dependencia creciente de unos países sobre otros derivada de la necesidad de adquisición de algunas materias primas o productos.

Las cadenas de suministro suponen una pieza crucial en el desarrollo de las economías mundiales, de este hecho, se deriva su enorme importancia y la cantidad de esfuerzos que se dedican a gestionarlas de la forma más adecuada.

1.1 Objetivo del trabajo

Motivado por la situación actual me he dispuesto a analizar cómo una “disrupción” de carácter global en la fabricación del producto puede afectar al resto de componentes de la cadena de suministro. Realizaré dos tipos de aproximaciones; una aproximación teórica basada en la completa comprensión del funcionamiento de las cadenas de suministro, y una aproximación más práctica basada en la creación de un diseño experimental.

En el caso de la aproximación teórica haré una revisión completa de la bibliografía referida a mi tema de estudio con la que trataré de obtener una comprensión profunda del tema. Esto me permitirá comprender como se produce la “disrupción” y cómo poder revertirla.

En el caso de la aproximación práctica analizaré el comportamiento de una cadena de suministro genérica ante distintos escenarios utilizando técnicas de simulación. Además, estudiaré los resultados obtenidos del diseño experimental que nos permitirán, mediante

técnicas estadísticas, obtener una información fiable y reveladora de la situación de estudio.

A este respecto, cabe mencionar que en la parte práctica estudiaré el uso de las denominadas “políticas de abastecimiento amortiguado” para la gestión de interrupciones en la cadena de suministro. Para ello me he apoyado en el documento Cannella et al. (2010), que nos presenta cuatro arquetipos de las cadenas de suministro y nos habla de las “políticas de abastecimiento amortiguado” a través de la analogía de la gestión de inventarios en la cadena de suministro con el llenado de depósitos de agua.

2. LA CADENA DE SUMINISTRO

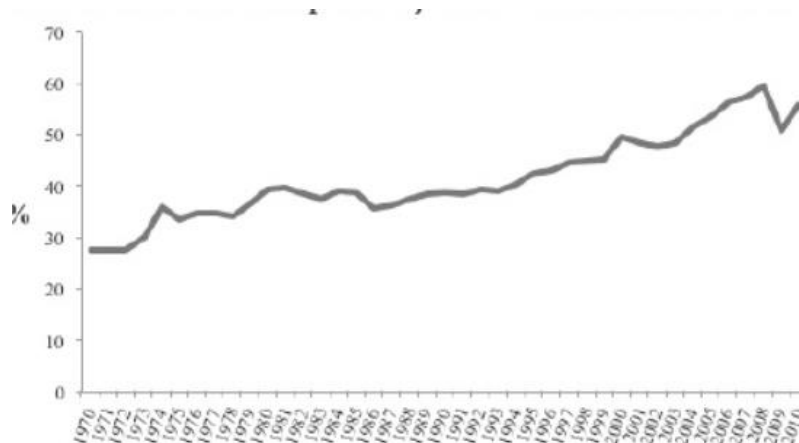
PARTE PRIMERA: LA CADENA DE SUMINISTRO Y SU GESTIÓN

2.1 Definición

Podemos entender una cadena de suministro como un sistema complejo de relaciones entre diferentes agentes a diferentes niveles. Las cadenas de suministro tienen como objetivo satisfacer la demanda de intercambio de productos entre el fabricante y el consumidor final. En ella, intervienen una serie de componentes que resultan de vital importancia para su funcionamiento. Este proceso se desarrolla desde una perspectiva integradora, en la que las empresas canalizan sus esfuerzos de forma coordinada y unificada hacia los nodos que están por debajo con el objetivo de tener un flujo constante y homogéneo, tanto de información como de los propios productos y servicios.

Con la apertura de los países al comercio global nació lo que hoy en día conocemos como “Globalización”. La globalización se define como: “... un fenómeno basado en el aumento continuo de la interconexión entre las diferentes naciones del mundo en el plano económico, político, social y tecnológico” (Wikipedia 2020). Este proceso, ha generado importantísimos cambios en la forma en que las empresas compiten y desarrollan sus estrategias, resultando en un incremento significativo del comercio internacional, tal y como se puede ver en el gráfico 2.1:

Gráfico 2.1: Aumento del comercio mundial con relación al PIB mundial



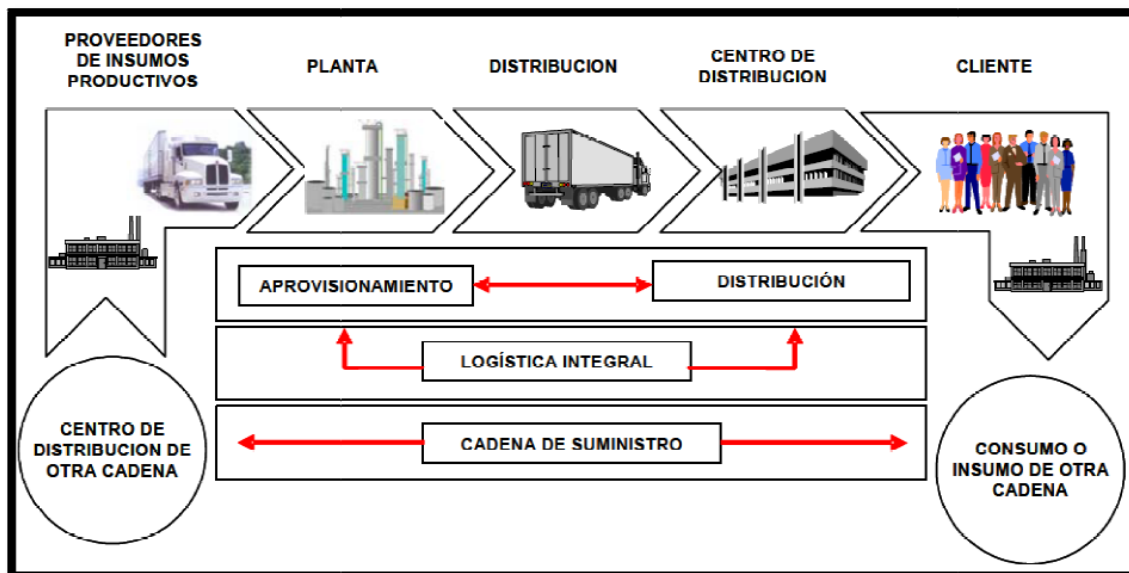
Fuente: Retos y oportunidades de la globalización económica. Mauricio Lascuráin Fernández y Jesús A. López González. (2013)

2.2 Componentes de la cadena de suministro

Como describíamos anteriormente una cadena de suministro engloba el intercambio de materias tanto físicas como intangibles en un flujo constante entre diferentes nodos, véase la ilustración 2.1. Llamamos nodos a los diferentes niveles que componen la cadena de suministro, son los siguientes:

- **Proveedores:** se encuentran en el inicio de la cadena de suministro y son los encargados de transferir bienes o servicios a otros nodos.
- **Fabricantes:** son los encargados de la transformación de las materias primas en materiales que puedan crear algún tipo de valor para el consumidor final. Es decir, fabrican lo que se conoce como output.
- **Minoristas:** son los encargados de vender el producto al consumidor final, por esta razón son los más cercanos a los clientes.
- **Clientes:** se trata del último eslabón de la cadena de suministro, se encargan de adquirir el producto que ha circulado a lo largo de la cadena.

Ilustración 2.1: Distribución de los componentes de la cadena de suministro.



Fuente: Jiménez y Hernández 2002

Cabe destacar que hay otros agentes que participan en la cadena de forma indirecta, podrían denominarse “agentes externos”. Estos se encargan de tareas como el transporte, la financiación, control de aduanas... Tienen un papel de menor peso en el conjunto, pero son imprescindibles para el desarrollo normal de la cadena.

2.3 La gestión de la cadena de suministro

2.3.1 Definición

En lo que a gestión de cadenas se refiere, podemos encontrar diferentes planteamientos, sin embargo, todos tienen el mismo objetivo. La gestión de cadenas de suministro busca generar la mayor tasa de eficiencia posible en el manejo y control de las operaciones en un entorno global, para ello se destinan los esfuerzos en el control de inventarios, transportes, tiempos, entre otras variables. Esta eficiencia que se busca mediante la gestión tiene como objetivo final la maximización del beneficio de todos los componentes manteniendo los costes bajos. No podemos olvidarnos de otra de sus principales funciones, generar un equilibrio en la oferta y la demanda a lo largo de toda la cadena de valor añadido.

El concepto de entender el control de la cadena de suministro como un todo, como un sistema homogéneo aparece en los primeros trabajos de “Aplazamiento, dinámica de sistemas y efecto látigo” (Forrester 1961), “Cooperación” (Bowersox 1969), “Gestión de inventario de múltiples niveles” (Geoffrion and Graves 1974), JIT y producción en serie.

La gestión de la cadena de suministro está enfocada en la gestión entre organizaciones, pero a la vez también se centra en la gestión de las relaciones internas de la organización en la resolución y tratamiento de los conflictos interdepartamentales.

Para desarrollar una correcta gestión de la cadena de suministro debemos cubrir tres aspectos que son de altísima importancia. Estos aspectos son el plano funcional, la planificación y las decisiones de operaciones. Consecuentemente, nos basaremos en estos aspectos para explicar la gestión de la cadena de suministro.

2.3.2 Diseño de la cadena de suministro

Un correcto diseño de la cadena de suministro es el pilar principal para obtener unos buenos resultados, podría decirse que se trata de los cimientos de la cadena. Para desarrollar este apartado, basándome en un documento de EAE Business School (2017), dividiré el diseño de la cadena en cuatro etapas, son las siguientes:

1. Definición de la estrategia:

Consideraremos como factor clave el conocimiento del entorno en el que se va a desarrollar la cadena, es decir, debemos conocer la situación del mercado. Teniendo en cuenta las características del mercado en el que vamos a implantar la cadena debemos mantener el alineamiento con la estrategia competitiva de la organización. Si logramos que los intereses estratégicos de la organización principal y los de la propia cadena de suministro trabajen de forma armoniosa lograremos la consecución de un importante objetivo. En definitiva, el área estratégica de la empresa y la cadena de suministro funcionaran una al servicio de la otra con el objetivo de alcanzar la mayor eficiencia posible.

2. Localización de las instalaciones:

El emplazamiento de las instalaciones vendrá probablemente condicionado por el mercado en el que se va a operar, sin embargo, debemos de considerar

profundamente las características intrínsecas de dicha localización. Para elegir la mejor región posible la organización deberá hacer estudios de diversas temáticas que abarcarán aspectos tales como:

- Legislación que se aplica.
- Capacidad de las instalaciones.
- Distancia a los centros de operaciones, medios de transporte...
- Localización de los clientes potenciales.
- Costes.

3. Selección de ubicaciones potenciales:

Una vez se ha determinado la región en la que se van a asentar las instalaciones se deberá elegir el sitio concreto que sea óptimo. Para ello se deberá contar con un listado de posibles ubicaciones.

4. Ubicación de las instalaciones:

Después de haber revisado el listado de sitios potenciales, se escogerá uno y se trasladará la decisión a toda la cadena con el objetivo de determinar la cantidad de trabajo que podrán soportar las instalaciones y como se va a repartir.

2.3.3 Decisiones de planificación

La planificación de la cadena de suministro forma parte de las funciones estratégicas dentro de la gestión de esta. Su planificación recoge diferentes aplicaciones como pueden ser el control de ventas, el control de la demanda o la gestión del inventario. Es por eso por lo que para un desarrollo exitoso necesita de una amplia experiencia y de una potente capacidad predictiva. El encargado de la planificación de la cadena de suministro deberá tener un control constante de los mercados, así como de las tendencias que se van desarrollando. Cabe destacar que la planificación no tiene una receta única para el éxito, puesto que esta debe adaptarse a las condiciones particulares tanto de la organización como del cliente.

Una condición clave que si comparten todas las organizaciones es que la planificación de la cadena sea lo suficientemente ágil en considerar las fluctuaciones en demanda que se van a producir, para ello una vez más, una fuerte capacidad predictiva puede ser decisiva.

Por lo general dada la complejidad de las cadenas de suministro actuales la mayoría de las empresas utiliza sistemas informáticos que facilitan la planificación y la obtención de información muy valiosa para el desarrollo de la cadena.

2.4 Sistema de gestión de la cadena de suministro

En este tipo de sistemas se utilizan aplicaciones informáticas basadas en algoritmos que determinan entre otras cosas la mejor forma de procesar un pedido, además de gestionar las relaciones con el cliente, las nóminas... Además de un complejo sistema informático, estos sistemas de gestión requieren de un arsenal de hardware específico, cintas automatizadas, lectores de códigos de barras, receptores de radiofrecuencia...

Hoy en día hay un enorme número de sistemas que las empresas implementan a lo largo del proceso productivo para tener un control total de los que pasa tanto dentro de sus fábricas como fuera de ellas. Principalmente estos sistemas se clasifican según el siguiente esquema:

- **Control en tiempo real**

Está basado en el “Supply Chain Event Management” o gestión de los eventos en la cadena de distribución.

Consiste en la identificación de los problemas en tiempo real y está sustentado en cinco funciones principales:

- Monitorización de los procesos.
- Notificación de un parámetro inadmisibles.
- Simulación de posibles acciones de ajuste.
- Selección de acción de control para eliminar el error.
- Medición en base a los indicadores de actividad.

Un ejemplo muy conocido de este tipo de sistemas es el “RFID” o identificación por radiofrecuencia. Es un sistema basado en una serie de lectores y etiquetas que nos permite ubicar y seguir un producto determinado. Su principal cometido es la reducción de los costes de mano de obra.

En la tabla 2.1 se comentan las principales ventajas y limitaciones:

Tabla 2.1: Ventajas y limitaciones del control en tiempo real

Ventajas	Limitaciones
Información actualizada	Coste de implementación
Libre de contacto	Problemas técnicos
Lectura de grandes volúmenes	Problemas de privacidad
Protección/Seguridad	Resistencia al calor

Fuente: Elaboración propia adaptado de Ivanov et al. (2019)

- **Inteligencia de negocio o “Business Intelligence”**

Este conjunto de sistemas tienen en común su importante dependencia en la tecnología, por lo tanto, podemos esperar que en los próximos años sean una auténtica revolución. Muchas de estas herramientas están basadas en lo que conocemos como inteligencia artificial, o el internet de las cosas (IoT). El uso de las nuevas tecnologías permite al encargado de controlar la cadena de suministro obtener una ventaja competitiva clara, además de aumentar la eficiencia de todos los procesos.

Entre los sistemas englobados en este grupo destacan:

- **Big Data**: esta herramienta permite un análisis de información a gran escala utilizando el poder computacional, facilita la toma de mejores decisiones y es cada día más importante en el panorama de control de la cadena de suministro.

- Cloud Computing: esta herramienta rompe las barreras entre grandes empresas y pequeñas empresas, puesto que nos es necesario realizar grandes inversiones en equipamiento tecnológico. A través del cloud computing podemos obtener poder computacional sin disponer del equipo físico. Este sistema se basa en una red de sistemas que ceden (alquilan) su capacidad de procesamiento a un tercero.

- **Intercambio de información y comunicación en la cadena de suministro**
Estos sistemas están destinados al procesamiento de la información y comunicación de la organización. Un sistema muy conocido hoy en día es el E-commerce o comercio digital.
 - E-Commerce: es una de las herramientas más importantes a día de hoy, todo lo que compramos online depende del E-commerce. Esta herramienta depende del E-business que utiliza la tecnología digital para llevar a cabo procesos de negocio de gran volumen.

- **Planificación y control en la coordinación de la cadena de suministro**
Sistemas destinados a planificar el proceso completo que se inicia en la fábrica y termina en las manos del cliente. Un sistema muy conocido es el APS o sistema de planificación avanzado.
 - APS: este sistema viene a dar soporte a lo que el ERP no es capaz de gestionar, es decir, al diseño, distribución y optimización matemática de los calendarios. Los sistemas APS extraen información de los módulos ERP y la procesan de la mejor forma posible automáticamente, ofreciendo al final del proceso unos informes detallados del proceso. Es un sistema muy completo, sin embargo, su aplicación es difícil ya que requiere de una precisión muy alta en la creación de los modelos. Según (Günther 2005) el APS puede ser un sistema exitoso para las cadenas de suministro dentro de la compañía con un control logístico centralizado.

- **Planificación a nivel empresarial**
Estos sistemas cubren todo lo que ocurre en la fábrica en aspectos como control de materiales, control de stocks... En este punto podemos encontrar uno de los sistemas más famosos en la planificación empresarial, se trata de:
 - ERP: por sus siglas en inglés “Enterprise Resource Planning” que en español significa “planificación de recursos empresariales”. Es un software que permite integrar todos los departamentos de la empresa brindando a la organización un flujo de información rico y homogéneo acerca de todos los procesos que se desarrollan dentro. Una característica muy importante de este software respecto a la cadena de suministro es que permite dar un alto nivel de servicio al cliente a la par que mantiene un control total de las cargas de trabajo en base al nivel de pedidos y las previsiones actuales.

- **MRP:** por sus siglas en inglés “Material Requirement Planning”, que en español significa “planificación de requerimiento de materiales”. Es un software enfocado en el control de la necesidad de materiales dentro de la organización, está directamente vinculado con la reducción de la cantidad de stocks. Este tipo de software integra las actividades de producción y de adquisición de materias primas.

Los principales objetivos de los planteamientos MRP son los siguientes:

- ◆ Reducir el nivel stock.
- ◆ Aumentar la eficiencia.
- ◆ Reducir los tiempos de espera entre producción y entrega al cliente.
- ◆ Plazos de tiempo realistas.

2.5 Decisiones de operaciones

Las decisiones de operaciones tienen como fin último crear valor para los consumidores, por lo tanto, las empresas llevarán a cabo diferentes estrategias en función de cuáles sean sus objetivos. Las organizaciones pueden llevar a cabo las siguientes estrategias:

- **Estrategia basada en la innovación**
Trata de ofrecer al consumidor productos únicos o unos servicios diferenciadores. Por lo general este tipo de estrategia se utiliza en la industria tecnológica en la que constantemente aparecen nuevas innovaciones.
- **Estrategia basada en la eficiencia**
Trata de lograr la eficiencia tanto interna (reducir costes de fabricación y logísticos), como externa (ofrecer el mejor precio posible al consumidor).
- **Estrategia basada en la calidad**
Tratan de ofrecer al consumidor un producto con unas características superiores a las de la competencia, el hecho de ofrecer productos de mejor calidad trae consigo un aumento en los costes del producto.
Este aumento del precio se deriva de mejores materiales, mejores servicios y mejores funciones internas.
- **Estrategia basada en el servicio**
Pretende ofrecer el producto al cliente con unas condiciones de velocidad de entrega, facilidad de compra, facilidad de devolución y localización de las instalaciones diferenciadoras a las de sus competidores, que generan una ventaja competitiva.

PARTE SEGUNDA: OBJETIVOS DE GESTIÓN EN LA CADENA DE SUMINISTRO

2.6 La resiliencia

La resiliencia de la cadena de suministro es la habilidad para “mantener, ejecutar y recuperar (adaptar) la ejecución planificada junto con el logro del rendimiento esperado (o adaptado, pero aun así aceptable)” (Ivanov et al., 2019, p. 466). Además, también es una propiedad multifacética que comprende a un número de componentes internos de la cadena de suministro en interacción con el entorno.

La resiliencia, que se representa de forma esquemática en la ilustración 2.2, nace como la herramienta para mitigar la creciente incertidumbre de los mercados y las enormes turbulencias que trae consigo, por ello la resiliencia se ha vuelto muy importante hoy en día. Para tener una cadena resiliente necesitamos que tenga las características de:

- **Redundancia**
Se obtiene por la aplicación de políticas del tipo “product postponement, rolling planning” que nos permiten actuar en dos sentidos, por un lado, nos amplían la variedad de rutas que podemos tomar para reaccionar ante cambios inesperados de forma rápida y efectiva, y, por otro lado, protegen la cadena de suministro frente a perturbaciones basadas en las reservas.
- **Robustez**
El hecho de disponer de ciertas reservas que nos permitan reaccionar ante perturbaciones inesperadas otorga a la cadena la cualidad de ser robusta.
- **Flexibilidad**
El hecho de poder adaptarse a perturbaciones inesperadas mediante el uso de rutas secundarias de entrada o salida de materias nos proporciona flexibilidad en la cadena de suministro.

Ilustración 2.2: Esquema de la resiliencia



Fuente: Traducido de Ivanov et al. (2019)

La robustez es una compleja característica de la cadena de suministro basada en mantener los procesos y la oferta como un todo. Se basa también en la creación de reservas que tendrán como objetivo anticipar fallos y desviaciones en la cadena como pueden ser fondos de inventario o colchones de capacidad entre otras.

La flexibilidad es un elemento muy perseguido por los diseñadores de la cadena de suministro que implementarán esta característica mediante la mejora de la flexibilidad de los procesos, el aumento de la coordinación y las estrategias de externalización e invirtiendo en redundancia estructural.

La flexibilidad será una característica clave en la mitigación del efecto ripple y en la mitigación de la etapa post-disruption.

2.7 Costes de la resiliencia

Es evidente pensar que a medida que aumentamos las medidas de protección frente a esas perturbaciones derivadas de la alta incertidumbre de los mercados, los costes empiezan a aumentar en una relación directa. El aumento en capacidad, en rutas alternativas, en métodos de recuperación... generarán una serie de costes adicionales. Sin embargo, estos también producirán un aumento en las ventas y el nivel de servicio al cliente.

La resiliencia generará en caso de una disrupción una disminución en las pérdidas potenciales debido a las políticas aplicadas.

Cuando se produce una disrupción podemos observar ocho etapas diferentes según Sheffi (2005) que son las siguientes:

- Acciones de Preparación.
- La Disrupción.
- La Respuesta Temprana.
- El Impacto Inicial.
- El Impacto Total.
- Las Acciones de Recuperación.
- Recuperación e Impacto a Largo Plazo.

Dependiendo del grado de implementación de la resiliencia el impacto será mayor o menor, esto dependerá de varios factores como pueden ser:

- El tamaño del inventario riesgo-mitigante, su uso es limitado e incrementa los costes de la cadena.
- El tamaño de la capacidad de respaldo, su uso disminuye el rendimiento y aumenta los costes de la cadena, sin embargo, reduce el efecto “ripple”.
- El grado de robustez y flexibilidad de la cadena.

Un estudio de Ivanov y Dolgui (2018), sugiere una nueva aproximación en la cual la conducta de la cadena de suministro es menos dependiente de la certidumbre de nuestro conocimiento sobre el entorno y sus cambios.

Esto nos lleva a pensar en la importancia de diseñar las cadenas de suministro basadas en un grado de necesidad de certidumbre bajo. Este estudio de Ivanov y Dolgui hace un llamamiento al desarrollo de una nueva forma de concebir el control de las cadenas basado en mayor flexibilidad, mayor variedad estructural y una mayor redundancia paramétrica.

Con la implementación de esta aproximación disfrutaremos de dos ventajas adicionales: una menor consideración de la incertidumbre en la toma de decisiones y un menor nivel de esfuerzos coordinados durante la recuperación basado en la resiliencia.

PARTE TERCERA: LA ACTUALIDAD EN LA CADENA DE SUMINISTRO Y LA GESTIÓN DE RIESGOS

2.8 La problemática actual en las cadenas de suministro

Las cadenas de suministro juegan un papel crucial en el desarrollo de las economías mundiales. Ligado a este papel tan importante, las cadenas se enfrentan a difíciles situaciones y problemas que los humanos tratamos de solucionar. Algunos de estos problemas pueden ser:

- **Calidad**
La calidad en la cadena de suministro es un factor que todas las empresas desean mantener, sin embargo, a medida que la complejidad de la cadena aumenta, la calidad tiende a disminuir.
- **Inventarios**

La gestión de inventarios es una de las piedras angulares de las cadenas de suministro. A medida que aumenta la longitud de la cadena de suministro, más complejo se vuelve el control de inventario.

- **Desastres naturales**

El entorno en el que se desarrolla la cadena de suministro es crucial para el transcurrir de la misma. En este trabajo haremos énfasis en tratar de apaciguar el efecto negativo de un desastre natural sobre una cadena. En concreto trataremos el efecto del Covid-19.

- **Economía**
- **Pérdidas en tránsito**
- **Retrasos**
- **Ciberseguridad**

2.8.1 El efecto Bullwhip

El efecto Bullwhip es probablemente uno de los fenómenos más estudiados en las cadenas de suministro en las dos últimas décadas, ya en 1961 fue estudiado por Forrester. A pesar de tener mucha información acerca de que es y cómo se produce, sigue siendo un problema en las cadenas de distribución a día de hoy.

El efecto Bullwhip es un fenómeno recurrente que está ligado al riesgo operativo y es producido principalmente por una incertidumbre aleatoria que se despliega a lo largo de la cadena de suministro ocasionando una disminución en la eficiencia de la misma. Esta incertidumbre genera un aumento en la variabilidad de los pedidos que aumenta cada vez más a medida que cambiamos de nodo.

Las variaciones en la demanda de pequeños minoristas pueden generar grandes variaciones para algunos mayoristas y aún más grandes para el fabricante.

Hay algunos causantes conocidos del efecto Bullwhip como pueden ser:

- Gestión inadecuada en la política de stocks.
- Retrasos en la obtención de información importante.
- Inadecuada expectativa sobre la demanda futura.

Al contrario que el efecto “Ripple”, este fenómeno se produce con alta frecuencia, pero con un impacto relativamente bajo.

2.8.2 El Efecto “Ripple”

También hay otra clase de problemas que cada día preocupan más a los gerentes de la cadena de suministro, estos son los riesgos de disrupción. Las disrupciones son aquellos eventos inesperados que afectan colateralmente a la cadena de distribución, son producidos por catástrofes naturales o catástrofes producidas por actividades humanas. Según Hendriks y Singhal (2005) los efectos negativos de una disrupción sobre la cadena de suministro pueden reducir entre un 33-40% el beneficio con respecto al año anterior.

Cuando se produce una disrupción esta suele afectar a la cadena de suministro mediante los que se conoce como efecto “Ripple”.

El efecto “Ripple” ocurre cuando un evento disruptivo impacta en la cadena sin poder ser descubierto o detenido a tiempo, produciendo una pérdida de rendimiento en la cadena que se propaga a través de los diferentes nodos. Debido a esto, también se conoce a este fenómeno como efecto “bola de nieve”.

Gran parte del impacto del efecto “Ripple” es debido a la globalización y a la centralización de las fábricas en parques tecnológicos y empresariales. Esto es resultado de la fuerte necesidad de las empresas de tener una cadena de distribución con unas exigencias en eficiencia y velocidad muy altas.

Con unas fábricas concentradas y una interrupción en las estructuras de transporte se desata el efecto “Ripple”. A diferencia del efecto “Bullwhip”, el efecto “Ripple” versa sobre un riesgo de disrupción de baja frecuencia, pero de alto impacto en la cadena.

2.9 La gestión de riesgos en la cadena de suministro

El riesgo es un factor clave a la hora de diseñar una cadena de suministro, por ello debemos tener claro que es y cómo gestionarlo.

El riesgo puede definirse de tres formas distintas según el enfoque que utilicemos, los siguientes autores nos ofrecen las siguientes definiciones (Ivanov et al., 2019, p. 461)

- “El riesgo es una estimación de probabilidad de un resultado negativo del evento que conduce a pérdidas (enfoque tecnológico)”.
- “El riesgo es una estimación individual por parte de la persona, del peligro de un resultado negativo del evento, que conduce a pérdidas; el riesgo es, en última instancia, una propiedad de cualquier emprendimiento (enfoque psicológico)”.
- “El riesgo es una propiedad integral de cualquier proceso o sistema, cuya gestión es un problema clave en el desempeño económico y el mantenimiento de la estabilidad (enfoque organizativo)”.

Una vez hemos conocido lo que es el riesgo desde diferentes perspectivas, debemos adentrarnos en cómo gestionarlo. Para ello empezaremos clasificando el riesgo en torno a cuatro categorías principales, (Ivanov et al. 2019, p. 461)

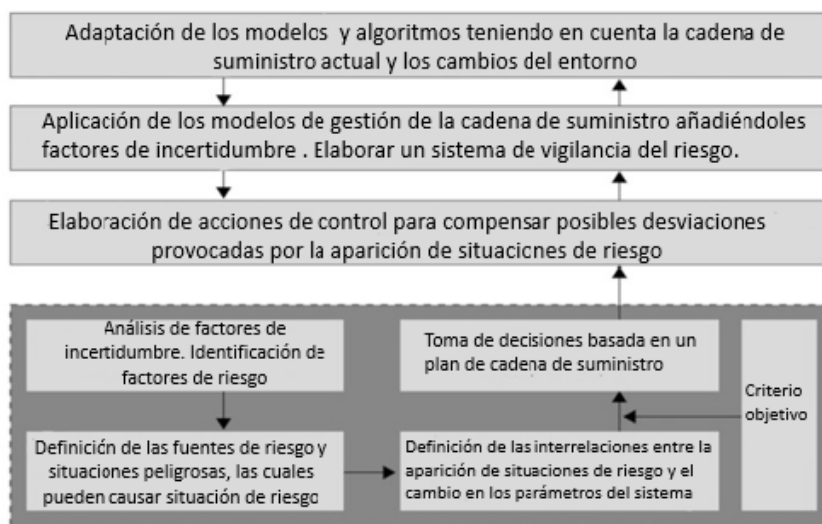
- “El factor de riesgo”: es una categoría genérica que clasifica a un sistema en torno a la consecución de unos objetivos.
- “La fuente del riesgo”: en esta categoría se consideran los acontecimientos que son susceptibles de causar un factor de riesgo.
- “La situación de riesgo”: se considera cuando la situación actual de un sistema está sufriendo perturbaciones derivadas de las influencias de la fuente de riesgo.
- “La situación peligrosa”: se considera cuando hay una probabilidad de que la fuente de riesgo genere una influencia directa y alta en un sistema.

Según (Ivanov et al. 2019, p. 461) “...El problema del funcionamiento de la cadena de suministro en lo que a riesgo se refiere consiste en las siguientes fases principales: identificación de los factores de riesgo, identificación de las fuentes de riesgo y las situaciones peligrosas, identificación de interdependencias entre la aparición de la situación de riesgo y los cambios en los parámetros de funcionamiento del sistema, toma de decisiones sobre compromisos durante la configuración de la cadena de suministro mediante el agravamiento de algunos criterios de objetivos, controlar el desarrollo de

decisiones para compensar posibles perturbaciones en el funcionamiento del sistema causadas por situaciones de riesgo y desarrollo de un sistema de monitoreo de objetos gestionados.”

Una vez conocemos que es el riesgo, como se clasifica y que produce en la cadena de suministro podemos resumir como gestionarlo la ilustración 2.3.

Ilustración 2.3: Esquema para la gestión del riesgo en la cadena de suministro



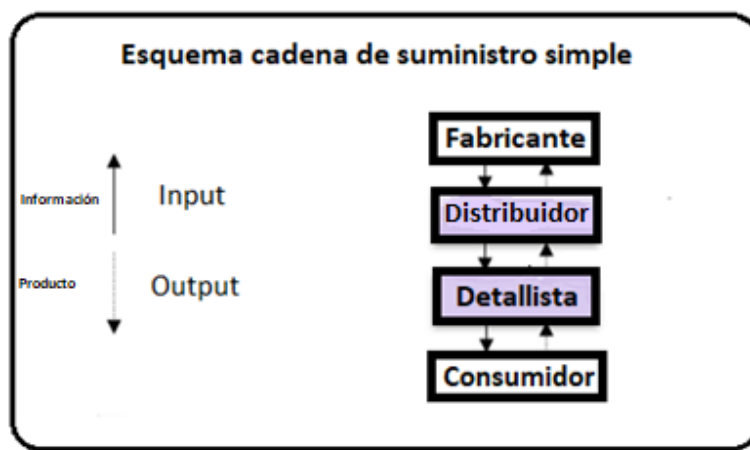
Fuente: Traducido de Global Supply Chain Management p. 462

3. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

3.1 Introducción

Para el estudio del impacto de una disrupción en una cadena de suministro, utilizaré un sistema de producción y distribución en serie de carácter no colaborativo. Dicha cadena de suministro, que se representa de forma esquemática en la ilustración 3.1, estará formada por 4 nodos, un fabricante que produce los bienes, un distribuidor o mayorista que distribuye los bienes, un minorista que vende directamente al consumidor y el consumidor final.

Ilustración 3.1: Esquema de la cadena de suministro considerada (en serie)



Fuente: Elaboración propia

Para facilitar el desarrollo posterior del modelo conviene comentar las siguientes suposiciones:

- La fábrica tiene siempre capacidad suficiente para satisfacer la demanda del distribuidor, excepto cuando ocurra la disrupción.
- Las órdenes que no puedan ser satisfechas a tiempo por el distribuidor y el detallista serán entregadas más tarde (tan pronto como sea posible) a sus nodos inferiores en la cadena de suministro
- La demanda del cliente esta aleatoriamente distribuida, siguiendo una distribución estadística uniforme, entre un valor mínimo y un valor máximo.
- Los tiempos de suministro son conocidos y fijos.
- El tiempo de transporte se medirá en μ semanas y supone el tiempo que transcurre desde que el pedido sale de fábrica hasta que llega al mayorista.
- El tiempo de suministro se medirá en λ semanas y supone el tiempo que pasa desde que el producto sale del almacén del mayorista y llega al del minorista.

3.2 Descripción formal del modelo

En este punto desarrollaremos el modelo que se encuentra detrás de toda la cadena. Este modelo nos permite determinar las cantidades necesarias para satisfacer las demandas en los diferentes niveles, sin embargo, antes debemos tener claramente definidos los conceptos que intervendrán.

En primer lugar, tenemos lo que se conoce como variables del modelo, y son aquellas que varían con la situación de la cadena en cada momento, y nos permiten definir el estado del sistema (la cadena de suministro) en cada momento.

Son las siguientes:

- **Producto recibido (R_t)**
Para el mayorista este será el producto elaborado y enviado por la fábrica, y para el minorista será el producto demandado al mayorista.
- **Inventario disponible (ID_t)**
Es el producto disponible al inicio del periodo t , que se puede utilizar para satisfacer la demanda del cliente en ese periodo.
- **Demanda u orden recibida (D_t)**
Puede ser la demanda del cliente para el minorista o la demanda del minorista para el mayorista.
- **Producto enviado (E_t)**
Es el producto que envía cada nodo a su nodo inferior en la cadena de suministro.
- **Inventario final (If_t)**
Es la cantidad de producto restante que queda después de satisfacer la demanda en el inventario de cada nodo.
- **Orden pendiente, o backlog (B_t)**
Es la cantidad de demanda insatisfecha de la orden. Al no ser satisfecha pasará a estar pendiente de procesar.
- **Inventario en tránsito (IT_t)**
Es la cantidad de producto que ya se ha ordenado al nivel superior, pero está pendiente de ser recibido, por lo tanto, no está disponible aún para satisfacer la demanda del cliente.
- **Previsión de demanda (PD_t)**
Es una aproximación del producto que será necesario satisfacer en el próximo periodo. Se calcula usando la media de la demanda de un número determinado de periodos previos, indicado por el horizonte temporal de la media móvil.
- **Orden (O_t)**
La cantidad de producto que se demandará al nodo superior en la cadena.

Por otro lado, existen una serie de parámetros, denominados “parámetros del sistema” que están sujetos a un valor numérico dado por los distintos componentes de la cadena, estos parámetros forman series temporales y son los siguientes:

- **Horizonte temporal de la media móvil (mm)**
Fija el número de periodos que se tienen en cuenta a la hora de calcular la previsión de la demanda futura.
- **Stock de seguridad (ss)**
Cantidad adicional de stock que servirá de colchón en caso de que la demanda recibida sea mayor que la espera, o de que se produzca algún problema en la cadena.

- **Desviación típica de la demanda (σ)**
Medida de desviación de la demanda del consumidor.
- **El tiempo de fabricación y suministro (μ y λ)**
Tiempo entre que el producto sale de un nodo y llega al siguiente en la cadena de suministro.
- **Regulador proporcional (k)**
Es un regulador de inventarios que se encuentra entre 0 y 1, forma parte de las políticas POUT (Proportional Order-Up-To).

Una vez tenemos los conceptos detallados procedemos a describir el funcionamiento del modelo en los siguientes pasos:

1. El producto recibido por el minorista es el correspondiente al enviado por el mayorista más el tiempo de suministro.
El producto recibido por el mayorista será el enviado por fábrica más el tiempo de transporte.
 - $R_{t\ min} = E_{t-\lambda}(\text{enviado por el mayorista})$
 - $R_{t\ may} = E_{t-\mu}(\text{enviado desde fábrica})$
Donde E_t pertenece al nodo inmediatamente superior en la cadena de suministro

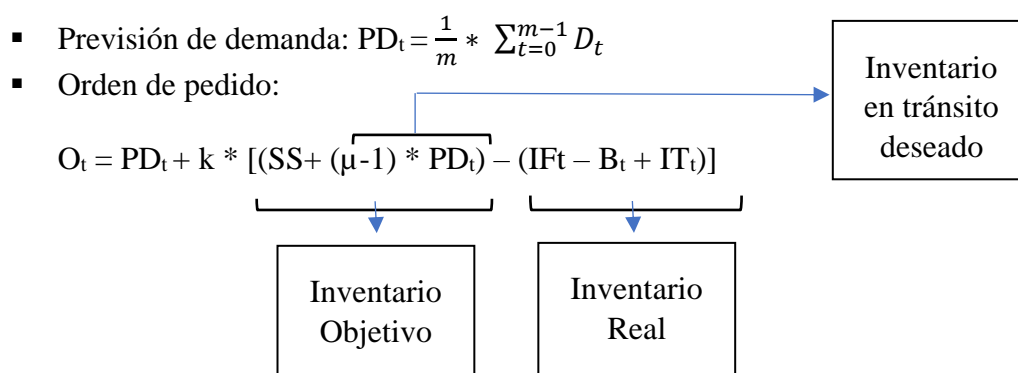
2. El inventario disponible en un momento de tiempo determinado será el resultado de la suma de la cantidad de producto recibida en t más el remanente de producto de $t-1$.
 - $ID_t = R_t + IF_{t-1}$

3. La orden recibida satisfecha en t se corresponde con la cantidad demanda por el nodo inferior en $t-1$.
 - $D_t = O_{t-1}$
Siendo D_t la cantidad demandada al minorista o al mayorista y O_t la orden recibida por el mayorista o por el fabricante.

4. El producto enviado por el nodo superior se corresponderá con la demanda recibida más la orden pendiente si hay suficiente inventario, si no hay suficiente producto para satisfacer lo anterior se enviará todo el producto en el almacén.
 - Si $B_{t-1} + D_t < ID_t$, Se envía la orden pendiente y la demanda recibida
 - Si $B_{t-1} + D_t > ID_t$, Se envía todo el inventario con la idea de satisfacer la demanda y un parte de la orden pendiente.

5. Al haber podido enviar parte del inventario en el paso anterior debemos recalcular el inventario final, si se ha enviado todo el inventario del cual se disponía, el inventario final será nulo o 0, si no se ha enviado todo se calcula como:

- $IF_t = ID_t - E_t$
6. Después de haber actualizado el inventario es conveniente revisar la cantidad de orden pendiente o backlog que nos queda, será 0 si la suma de la demanda recibida más el backlog es menor que el inventario, esto se calcula como sigue:
- $B_t = (D_t + B_{t-1}) - E_t$
7. El inventario en tránsito es la diferencia entre el inventario en tránsito en $t-1$ y la suma del producto recibido y la orden recibida en $t-1$.
- $IT_t = IT_{t-1} - R_t + O_{t-1}$
8. Finalmente calcularemos la previsión de la demanda y la orden de pedido para satisfacer dicha demanda.



Como hemos podido observar todo el proceso gira en torno a los pedidos, esto nos indica que la pieza clave sobre la que se sustenta el modelo es una política de pedidos, en concreto este modelo utiliza una política POUT o (Proportional Order Up To) basado en un operador de ordenes proporcionales. Esta política es una de las políticas de reaprovisionamiento amortiguado más habituales tanto en estudios teóricos como en el mundo empresarial. A modo de ejemplo, Potter y Disney (2010) muestran como el uso de esta política en la cadena de supermercados británica Tesco ha resultado en una reducción de costes muy significativa, derivada principalmente de la reducción del efecto Bullwhip en la cadena de suministro.

3.3 Indicadores

Los indicadores de rendimiento nos van a permitir determinar el rendimiento o eficiencia de la cadena. Principalmente vamos a tener dos indicadores que nos van a permitir conocer dicho rendimiento, el nivel de servicio al consumidor y el nivel medio de inventario. Como comentamos con anterioridad, una cadena de suministro será más eficiente cuanto mayor sea el nivel de servicio al consumidor alcanzado con el menor gasto posible. Para medir el coste incurrido en la gestión de la cadena de suministro, utilizaremos el concepto previamente expuesto del efecto Bullwhip.

❖ Nivel de servicio al consumidor

Este ratio nos indica el porcentaje de clientes satisfechos con el producto que ha sido demandado, es decir, en que proporción la demanda de todos los clientes es satisfecha. Este indicador será aplicado por el nodo que está directamente en contacto con el consumidor, es decir, del minorista.

Para calcular el nivel de servicio solo necesitaremos dos variables del sistema: la demanda pendiente a satisfacer por el minorista (B_t) y la demanda del consumidor (D_t).

$$NSC = 1 - \frac{MEDIA B_t MIN}{MEDIA D_t MIN}$$

❖ Efecto “Bullwhip”

Es una distorsión entre los pedidos realizados por el consumidor y los que se ordenan a medida que nos adentramos en la cadena de suministro. Se produce desde el cliente hasta la fábrica, y se puede medir a través del siguiente ratio:

$$EB_P = \frac{Var E_t Fab / Media E_t Fab}{Var D_t min / Media D_t Min}$$

No obstante, cabe mencionar que en este trabajo no queremos analizar el comportamiento de esos indicadores de forma individual, sino el impacto de la disrupción en los mismos. Por eso, definimos dos indicadores relativos a partir de los anteriores:

❖ Nivel de servicio al consumidor relativo

Este indicador nos aporta una comparativa entre el nivel de servicio al consumidor del año en el que se produce la disrupción y un año normal. Para calcular el NSC en un año normal, escogeremos tres años aleatoriamente de la simulación no afectados por la disrupción y calcularemos el NSC promedio de los mismos.

$$NSC_{relativo} = \frac{NSC (año de la disrupción)}{NSC (año normal)}$$

❖ Efecto “Bullwhip” relativo

En este caso compararemos el efecto “Bullwhip” del año en el que se produce la disrupción y un año normal.

$$EB_{\text{Relativo}} = \frac{EB(\text{año de la disrupción})}{EB(\text{año normal})}$$

3.4 Implementación

Una vez hemos hecho una revisión y conocemos la fundamentación teórico-práctica del funcionamiento del modelo, así como las herramientas clave para evaluarlo, podemos pasar a la modelización de este.

Para la modelización hemos utilizado Microsoft Excel el cual es un programa que nos permite llevar a cabo la simulación del modelo de una forma sencilla y fácilmente comprensible. Para que el modelo sea suficientemente sólido hemos decidido utilizar 3000 periodos para el cálculo de las variables, de este modo podemos evitar fluctuaciones y ver una tendencia con bastante claridad.

Como queremos evaluar los efectos de una disrupción por cierre temporal de fábrica compararemos el modelo en condiciones normales y el modelo introduciendo la disrupción.

Es importante destacar que en el modelo hay una serie de parámetros que se encuentran definidos en unos valores determinados, es decir, no podemos dar cualquier valor.

Las limitaciones son las siguientes:

- El parámetro tiempo solo puede tomar valores entre 1 y 6.
- El regulador proporcional “k” debe estar comprendido entre 0 y 1.
- El horizonte temporal de la media móvil puede tomar valores entre 1 y 4.
- El valor del stock de seguridad deseado puede tomar cualquier valor positivo.

En la tabla 3.1 podemos ver una captura de la hoja de Excel usada para simular el modelo. Se puede observar que aparece información referente a parámetros del sistema, variables e indicadores de rendimiento.

Tabla 3.1: Pestaña de parámetros y resultados

PARÁMETROS			INDICADORES DE RENDIMIENTO				
	Media	Rango		Año 1	Año N1	Año N2	Año N3
Demanda del cliente	100	45	Nivel de servicio a consumidor	94,95%	92,15%	96,33%	97,72%
			Efecto Bullwhip	2,91	6,29	2,45	1,59
Periodo de transporte (semanas)	3						
Tiempo de suministro (semanas)	1			92,15%	6,29	94,95%	2,91
	Minorista	Distribuidor					
Regulador proporcional inventario (k)	0,4	1					
Horizonte temporal media móvil (m)	4	4					
	Minorista	Distribuidor					
Stock de seguridad	40	25					
Porcentaje de demanda satisfecha	0,00%						
Duración de la disrupción	5						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2: Pestaña minorista

Semana	Producto recibido	Inventario disponible	Orden recibida (Demanda)	Producto enviado	Inventario final	Demanda no satisfecha	Inventario en tránsito	Previsión de demanda	Stock de seguridad	Inventario en tránsito deseado	Orden de compra
t	Rt	IDt	Dt	Et	IFt	UDt	ITt	PDt	SS		Ot
-5			145	100							100
-4			59	100							100
-3			108	100							100
-2			99	100							100
-1			80	100	40	0	0	96			100
0	100	140	91	91	49	0	0	95	40	0	91
1	100	149	66	66	83	0	-9	84	40	0	70
2	91	174	61	61	113	0	-30	75	40	0	58
3	70	184	112	112	72	0	-42	83	40	0	87
4	58	129	109	109	20	0	-13	87	40	0	100
5	87	108	100	100	8	0	0	96	40	0	109
6	100	108	121	108	0	13	9	111	40	0	123
7	78	78	125	78	0	47	55	114	40	0	108
8	78	78	89	78	0	11	85	109	40	0	91
9	106	106	60	60	46	0	70	99	40	0	69
10	136	182	67	67	115	0	2	85	40	0	54
11	102	217	65	65	152	0	-46	70	40	0	43
12	54	206	74	74	132	0	-57	67	40	0	53
13	43	176	144	144	32	0	-47	88	40	0	110
14	53	85	103	85	0	18	10	97	40	0	109
15	110	110	104	104	6	0	9	106	40	0	116
16	62	68	109	68	0	41	63	115	40	0	106
17	18	18	67	18	0	49	151	96	40	0	52
18	140	140	137	137	3	0	62	104	40	0	94
19	151	154	83	83	71	0	5	99	40	0	84
20	105	176	91	91	85	0	-16	95	40	0	83
21	84	170	105	105	65	0	-17	104	40	0	101
22	83	148	122	122	26	0	1	100	40	0	105
23	42	68	61	61	7	0	64	95	40	0	83
24	0	7	87	7	0	80	147	94	40	0	51
25	0	0	129	0	0	129	198	100	40	0	37
26	0	0	74	0	0	74	235	88	40	0	10
27	172	172	66	66	106	0	73	89	40	0	33
28	157	263	119	119	144	0	-51	97	40	0	76
29	49	193	97	97	96	0	-24	89	40	0	76

Fuente: Elaboración propia

En esta tabla se puede observar la pestaña “minorista” en la cual encontramos información acerca de todas las variables de la cadena de suministro. Esta presentación de la información nos permite poder entenderla de una forma rápida y sencilla.

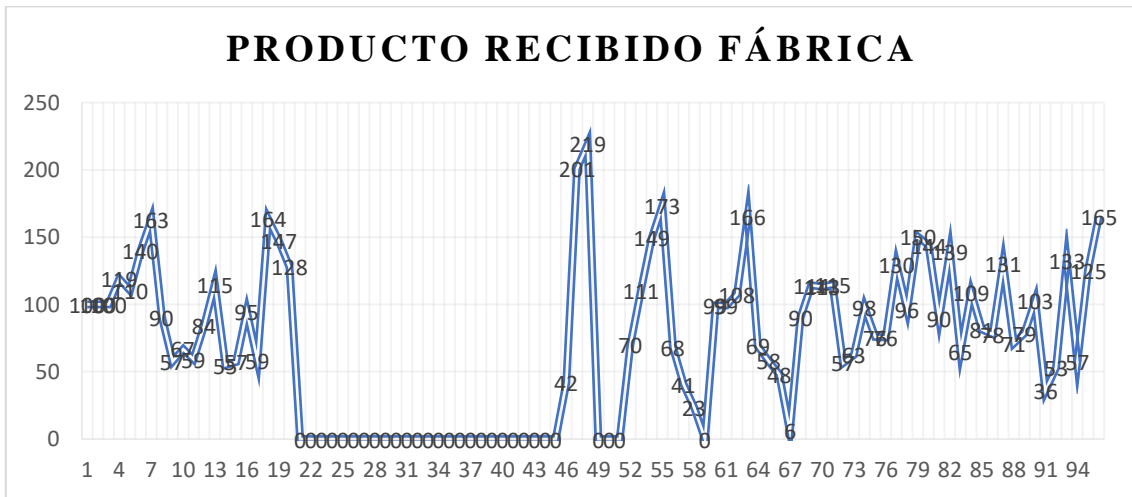
Tabla 3.3: Pestaña auxiliar

PROMEDIO	42	39	82	100	5	100	96	16	95	100	0	95	1
VARIANZA	1417	2046	6008	670	215	168	1747	914	394	670	0	1752	0
	INVENTARIO FINAL			Demanda	Demanda	Previsión demanda	Orden fabricación	Envío pendiente	Demanda	Demanda	(PD _{t+1} -Dt)/Dt	Producto recibido	Porcentaje Demanda
Semana	Tienda	Fábrica	Total	tienda	no satisfecha	tienda	fábrica	fábrica	fábrica	consumidor	tienda	fábrica	Satisfecha Tienda
0	49	34	83	91	0	95	85	0	91	91	0.05	100	100.00%
1	83	63	146	66	0	84	46	0	70	66	0.44	100	100.00%
2	113	106	219	61	0	75	28	0	58	61	0.38	100	100.00%
3	72	104	176	112	0	83	78	0	87	112	0.33	85	100.00%
4	20	50	70	109	0	87	106	0	100	109	0.24	46	100.00%
5	8	0	8	100	0	96	136	31	109	100	0.13	28	100.00%
6	0	0	0	121	13	111	174	76	123	121	0.21	78	88.85%
7	0	0	0	125	47	114	123	79	108	125	0.11	106	62.14%
8	0	0	0	89	11	109	85	34	91	89	0.28	136	88.01%
9	46	72	118	60	0	99	39	0	69	60	0.82	174	100.00%
10	115	141	256	67	0	85	3	0	54	67	0.48	123	100.00%
11	152	183	335	65	0	70	0	0	43	65	0.31	85	100.00%
12	132	169	301	74	0	67	18	0	53	74	0.05	39	100.00%
13	32	62	94	144	0	88	140	0	110	144	0.53	3	100.00%
14	0	0	0	103	18	97	151	47	109	103	0.15	0	82.06%
15	6	0	6	104	0	106	170	145	116	104	0.07	18	100.00%
16	0	0	0	109	41	115	145	111	106	109	0.03	140	62.32%
17	0	0	0	67	49	96	10	11	52	67	0.72	151	26.97%
18	3	65	68	137	0	104	82	0	94	137	0.30	170	100.00%
19	71	125	196	83	0	99	60	0	84	83	0.25	145	100.00%
20	85	42	127	91	0	95	75	0	83	91	0.09	0	100.00%
21	65	0	65	105	0	104	222	59	101	105	0.10	0	100.00%
22	26	0	26	122	0	100	172	164	105	122	0.15	0	100.00%
23	7	0	7	61	0	95	157	247	83	61	0.64	0	100.00%
24	0	0	0	87	80	94	249	298	51	87	0.09	0	7.83%
25	0	0	0	129	129	100	0	163	37	129	0.27	172	0.00%
26	0	0	0	74	74	88	0	16	10	74	0.35	157	0.00%
27	106	200	306	66	0	89	0	0	33	66	0.33	249	100.00%
28	144	124	268	119	0	97	18	0	76	119	0.25	0	100.00%
29	96	48	144	97	0	89	106	0	76	97	0.00	0	100.00%
30	99	0	99	73	0	89	123	27	75	73	0.22	0	100.00%
31	32	0	32	143	0	108	187	130	121	143	0.38	18	100.00%
32	0	0	0	81	1	99	111	120	96	81	0.33	106	98.87%
33	0	0	0	119	101	104	64	66	70	119	0.17	123	15.06%
34	1	29	30	105	0	112	107	0	92	105	0.01	187	100.00%
35	0	38	38	131	7	109	87	0	102	131	0.15	111	94.74%
36	54	0	54	104	0	115	118	7	109	104	0.05	64	100.00%
37	32	0	32	124	0	116	149	16	116	124	0.07	107	100.00%
38	42	0	42	91	0	113	112	32	103	91	0.27	87	100.00%
39	44	0	44	105	0	106	94	11	97	105	0.08	118	100.00%
40	39	46	85	92	0	103	80	0	92	92	0.15	149	100.00%
41	90	90	179	67	0	89	32	0	68	67	0.54	112	100.00%
42	68	85	152	125	0	97	96	0	99	125	0.29	94	100.00%
43	62	83	144	74	0	90	70	0	82	74	0.31	80	100.00%
44	58	23	81	102	0	92	92	0	92	102	0.12	32	100.00%
45	51	22	73	89	0	98	118	0	97	89	0.03	96	100.00%
46	1	0	1	142	0	102	134	27	119	142	0.31	70	100.00%
47	17	0	17	81	0	104	124	41	106	81	0.26	92	100.00%
48	31	0	31	77	0	97	84	11	87	77	0.35	118	100.00%
49	58	51	109	65	0	91	54	0	72	65	0.49	134	100.00%

Fuente: Elaboración propia

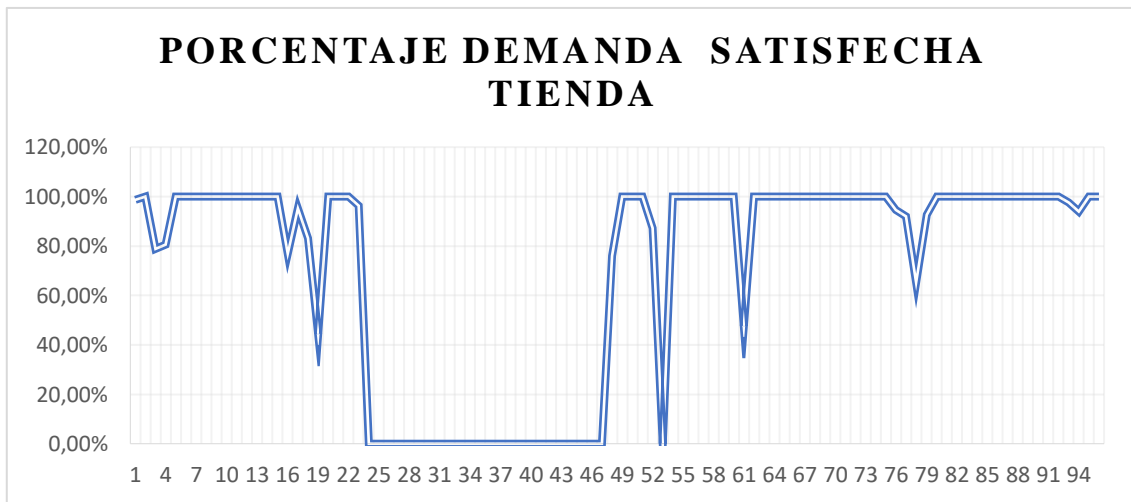
En esta pestaña del modelo de Excel, podemos encontrar un resumen de la información que se ha usado para calcular los indicadores y algunas variables, por lo general he usado esta pestaña para el cálculo de operaciones. En esta pestaña también he realizado unos gráficos en los que podemos observar la interrupción y sus futuras consecuencias, desde distintos puntos de vista.

Gráfico 3.1: Producto recibido de fábrica



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.2: Porcentaje de demanda satisfecha en tienda



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 3.1 podemos observar que entre la semana 22 y la semana 45 no se recibió ningún producto de fábrica, en este intervalo de tiempo se produjo la interrupción. También podemos observar en el gráfico 3.2 que en la semana 24 la demanda satisfecha en tienda cae al 0%, el desfase entre los dos gráficos se debe al stock de seguridad que tenía la tienda y que le permitió continuar satisfaciendo la demanda hasta dos semanas después de dejar de recibir producto de fábrica.

A partir de la semana 46 podemos observar el fenómeno conocido como “efecto Ripple” que explicamos anteriormente en el apartado 2.8. Podemos observar cómo tras la interrupción se produce ese efecto bola de nieve tan característico.

4. DISEÑO EXPERIMENTAL

4.1 Introducción

Una vez hemos desarrollado la modelización del evento a estudiar y conocemos todos los detalles del modelo, comenzaremos a analizar los valores obtenidos de las simulaciones realizadas en la hoja de Excel. En este caso vamos a estudiar el nivel de servicio al consumidor y el efecto “Bullwhip”, en ambos casos nos basaremos en los indicadores normales y relativos.

Comenzaremos esta parte del estudio realizando un análisis exploratorio que nos permitirá saber cómo reaccionará nuestra cadena de suministro ante los experimentos. Para que la fiabilidad del estudio sea alta, haremos 114 simulaciones en 3 bloques de 38 iteraciones.

Una vez realizado el análisis exploratorio continuaremos el estudio con un análisis confirmatorio a través de un diseño de experimentos. A través de este tipo de análisis podremos conocer conclusiones de carácter estadístico que pueden aplicarse a la vida real.

Para realizar el diseño de experimentos iremos introduciendo las simulaciones en los valores de entrada y anotando los valores de salida de las celdas, estos valores de salida se corresponden en este caso con los indicadores efecto “Bullwhip” y el “NSC”.

Para llevar a cabo el diseño de experimentos propongo el siguiente esquema:

- Determinación de los factores controlables, que son aquellos que son susceptibles de ser modificados tanto en el modelo como en la vida real.
- Determinación de las variables de ruido o factores incontrolables, no son controlables en la realidad, pero si podemos darles un valor en la simulación.
- Construcción del layout para el diseño de experimentos, para la creación del layout se ha utilizado la técnica de Fisher con el objetivo de reducir la incidencia de las variables de ruido en la simulación.
- Como apuntaba anteriormente utilizaremos 38 simulaciones divididas en 3 bloques, obteniendo un total de 114 simulaciones que nos permiten obtener significatividad estadística.
- Estudio estadístico de los resultados, en este punto analizaremos estadísticamente los resultados obtenidos de las simulaciones. Analizaremos los indicadores de rendimiento y el análisis Anova de las variables.

4.2 Factores controlables vs incontrolables

A continuación, pasaremos a describir cuales son los factores controlables:

- **Regulador proporcional de inventario del minorista y del distribuidor (k)**
Este regulador nos permite regular el inventario con el objetivo de amortiguar posibles eventos inesperados. En este modelo su valor podrá oscilar en 0 y 1.
- **Stock de seguridad del minorista y del distribuidor**
El stock de seguridad podrá tomar cualquier valor positivo. El stock de seguridad del distribuidor tendrá un valor fijo de 25 unidades.
- **Horizonte temporal de la media móvil**
En este modelo se le ha otorgado un valor fijo de 4 unidades.

A continuación, pasaremos a comentar los factores incontrolables

- **Demanda**
La demanda se describe como un valor aleatorio que se encuentra entre los valores máximos y mínimos. Este será siempre positivo.
- **Tiempo de suministro**
Está acotado para que pueda ser cualquier valor positivo entre 1 y 6 semanas.
- **Tiempo de transporte**
Al igual que el tiempo de suministro podrá tomar valores entre 1 y 6 semanas.
- **Duración de la disrupción**
Se refiere al tiempo en el cual el minorista no recibe productos de fábrica, en este modelo podrá durar entre 0 y 20 semanas.
- **Capacidad del fabricante en la disrupción**
Este valor será fijo al 0%.

4.3 Presentación del diseño de experimentos

En este punto se presentan los valores que han sido introducidos en la simulación del modelo con el objetivo de obtener los resultados de los indicadores y las variables.

Partimos de un modelo de simulación con unos valores determinados los cuales iremos modificando con los valores procedentes del diseño de experimentos.

El modelo tiene como valores fijos los siguientes:

- Demanda media del cliente: 100 unidades
- Horizonte temporal de la media móvil del distribuidor y del minorista: 4
- Stock de seguridad del distribuidor: 25 unidades
- Capacidad del fabricante en la disrupción: 0%

Los valores obtenidos en el diseño de experimentos se encuentran en unos intervalos, en los que se precisan: un valor bajo, un valor medio y un valor alto. Se muestra en la tabla 4.1.

Tabla 4.1: Pestaña de factores y niveles

Señal				
	Valor Fijo			
Demanda del cliente (media)	100			
Factores incontrolables				
	Valor Fijo	Valor Bajo	Valor Alto	Valor Int.
Demanda del cliente (rango de variación)		15	45	30
Periodo de transporte		1	3	2
Tiempo de suministro		1	3	2
Duración de la disruption		5	20	
Capacidad del fabricante en la disruption	0%			
Factores controlables				
	Valor Fijo	Valor Bajo	Valor Alto	Valor Int.
Regulador proporcional de inventario _ Minorista		0,4	1	0,7
Regulador proporcional de inventario _ Distribuidor		0,4	1	0,7
Horizonte de la media móvil	4			
Stock de seguridad _ Minorista		10	40	25
Stock de seguridad _ Distribuidor	25			

Fuente: Elaboración propia

Como comentaba anteriormente, los valores que introduciremos en el modelo se han diseñado con la técnica de Fisher con el objetivo de reducir la incidencia de los factores incontrolables, esto se consigue gracias a la aleatoriedad de esta técnica.

A continuación, podemos ver en la tabla 4.2 los valores utilizados para las simulaciones:

Tabla 4.2: Layout de experimentos

RunOrder	CenterPt	Blocks	A_DemRV	B_PerTrans	C_TieSumi	D_DurDisrup	E_RegP_Min	F_RegP_Dis	G_SSMIn
1	1	1	45	1	3	20	0,4	0,4	40
2	1	1	15	3	1	20	1	1	10
3	1	1	45	1	3	5	1	1	40
4	1	1	15	3	3	20	0,4	0,4	40
5	1	1	15	1	3	20	1	1	40
6	1	1	15	3	3	5	0,4	1	10
7	1	1	15	1	1	5	0,4	1	40
8	1	1	45	3	3	5	1	0,4	10
9	1	1	45	3	3	20	1	1	40
10	1	1	45	3	1	20	0,4	0,4	10
11	1	1	15	3	3	5	1	1	40
12	1	1	45	1	3	20	1	0,4	10
13	1	1	45	1	3	5	0,4	1	10
14	1	1	15	3	1	5	1	0,4	40
15	0	1	30	2	2	20	0,7	0,7	25
16	0	1	30	2	2	5	0,7	0,7	25
17	1	1	15	3	1	5	0,4	0,4	10
18	0	1	30	2	2	5	0,7	0,7	25
19	1	1	45	1	1	5	0,4	0,4	10
20	1	1	15	1	1	5	1	1	10
21	1	1	15	3	1	20	0,4	1	40
22	1	1	45	1	1	5	1	0,4	40
23	0	1	30	2	2	20	0,7	0,7	25
24	1	1	45	1	1	20	1	1	10
25	1	1	45	3	3	5	0,4	0,4	40
26	1	1	15	1	1	20	1	0,4	40
27	1	1	15	1	1	20	0,4	0,4	10
28	1	1	45	3	1	5	1	1	10
29	1	1	45	1	1	20	0,4	1	40
30	1	1	15	1	3	20	0,4	1	10
31	1	1	15	1	3	5	1	0,4	10
32	0	1	30	2	2	5	0,7	0,7	25
33	1	1	45	3	3	20	0,4	1	10
34	1	1	15	1	3	5	0,4	0,4	40
35	0	1	30	2	2	20	0,7	0,7	25
36	1	1	15	3	3	20	1	0,4	10
37	1	1	45	3	1	20	1	0,4	40
38	1	1	45	3	1	5	0,4	1	40

Fuente: Elaboración propia

4.4 Resultados numéricos

Tras haber realizado las 114 simulaciones hemos obtenido unos datos representativos acerca de los indicadores que se van a estudiar. En la tabla 4.3 se muestran los valores de las 38 primeras iteraciones.

Tabla 4.3: Tabla de resultados

RunOrder	NSC	EB	NSC^	EB^
1	60,45%	9,08	62,15%	8,60
2	54,40%	88,30	55,10%	15,45
3	82,76%	18,91	88,03%	3,22
4	58,29%	48,08	58,43%	13,83
5	62,25%	138,68	62,36%	21,09
6	86,84%	52,87	88,92%	9,72
7	91,58%	39,23	91,58%	38,25
8	81,26%	7,01	92,04%	1,80
9	55,10%	19,54	59,86%	2,10
10	54,40%	7,16	57,14%	11,51
11	88,16%	55,76	89,11%	3,20
12	54,05%	8,90	58,35%	4,61
13	83,83%	11,19	87,76%	6,40
14	85,53%	25,74	85,53%	10,29
15	59,20%	18,97	60,57%	6,93
16	85,82%	10,14	88,02%	3,46
17	86,94%	19,02	87,69%	20,36
18	86,29%	12,08	88,84%	4,77
19	87,66%	2,37	92,38%	3,19
20	86,89%	10,37	89,53%	3,22
21	84,81%	2,69	88,80%	4,29
22	88,92%	26,81	90,18%	9,86
23	60,64%	54,95	60,67%	15,31
24	56,73%	10,34	60,17%	4,05
25	90,16%	5,30	94,87%	2,07
26	60,41%	46,00	60,41%	30,54
27	61,33%	57,65	61,99%	64,58
28	72,05%	9,25	81,34%	1,32
29	62,34%	12,49	63,82%	11,18
30	61,75%	137,47	62,64%	56,04
31	87,42%	27,93	89,26%	15,40
32	88,00%	10,60	90,10%	3,17
33	55,87%	11,61	60,18%	2,58
34	91,11%	29,30	91,27%	15,07
35	60,54%	18,48	62,16%	7,95
36	51,52%	78,22	52,63%	18,71
37	53,75%	6,19	56,14%	3,54
38	89,85%	4,74	93,78%	2,04

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla, hemos obtenido valores para el nivel de servicio al consumidor y el efecto “Bullwhip” en su forma normal y relativa.

5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este apartado vamos a analizar estadísticamente los resultados obtenidos en las simulaciones del modelo. Para ello vamos a estudiar primero la significatividad estadística del impacto de las variables de entrada sobre las variables de salida y posteriormente analizaremos los efectos principales.

De acuerdo con el objetivo del estudio nos vamos a centrar en el análisis de los indicadores Y3 e Y4, ya que estas métricas nos permiten medir el impacto de la disrupción en el sistema y cómo gestionarla de la mejor forma posible.

En primer lugar, vamos a definir la notación que hemos utilizado para los indicadores (es decir, las variables dependientes):

- Y1: nivel de servicio al consumidor relativo (con respecto a un año normal).
- Y2: efecto “Bullwhip” relativo (con respecto a un año normal).

Por otro lado, de cara al estudio estadístico, utilizaremos la siguiente notación de los parámetros (es decir, las variables independientes):

- X1: rango de variación de la demanda del consumidor (no controlable).
- X2: Periodo de transporte (no controlable).
- X3: Tiempo de suministro (no controlable).
- X4: Duración de la interrupción en el suministro (no controlable).
- X5: Regulador proporcional del minorista (controlable).
- X6: Regulador proporcional del distribuidor (controlable).
- X7: Stock de seguridad del minorista (controlable).

Tras aclarar la notación del estudio, podemos pasar a la primera parte análisis. En esta primera parte haremos un análisis del tipo ANOVA tras comprobar que se cumplen los requisitos de aplicación. Para el análisis utilizaremos el software MATLAB ya que tenemos a nuestra disposición la licencia Campus de la Universidad de Oviedo.

A continuación, se puede ver el análisis ANOVA para la variable Y1 en la tabla 5.1.

Tabla 5.1: Cálculo Anova YI

Analysis of Variance					
Source	Sum Sq.	d.f.	Mean Sq.	F	Prob>F
X1	0.00008	1	0.00008	0.03	0.871
X2	0.00033	1	0.00033	0.11	0.7435
X3	0.00097	1	0.00097	0.31	0.5767
X4	1.97226	1	1.97226	638.21	0
X5	0.03362	1	0.03362	10.88	0.0014
X6	0.01822	1	0.01822	5.9	0.0172
X7	0.02627	1	0.02627	8.5	0.0045
Error	0.27194	88	0.00309		
Total	2.32369	95			

Constrained (Type III) sums of squares.

Fuente: Elaboración propia

Lo que vamos a conseguir con este análisis es observar si se acepta o se rechaza la hipótesis nula, que en este caso es “la variable de entrada no tiene impacto alguno sobre la salida”.

La hipótesis se podrá rechazar cuando el p-valor sea menor al 5% (0,05).

Podemos observar que los parámetros que generan una influencia significativa sobre las métricas son las siguientes:

- X4: Duración de la interrupción en el suministro (no controlable).
- X5: Regulador proporcional del minorista (controlable).
- X6: Regulador proporcional del distribuidor (controlable).
- X7: Stock de seguridad del minorista (controlable).

Es interesante destacar que la variabilidad de la demanda no tiene un impacto sobre NSC relativo, luego no afecta sobre el impacto de la disrupción en el sistema. De la misma forma, el periodo de transporte y el tiempo de suministro no afectan de forma significativa sobre el impacto de la disrupción en el sistema. Nótese que ello no quiere decir que estos parámetros no influyan sobre el rendimiento de la cadena de suministro, sino que no modifican de forma significativa el impacto de la disrupción.

Sin embargo, sí que podemos modificar el regulador proporcional, tanto en el nivel minorista como en el nivel detallista, con el objetivo de mitigar el impacto de la interrupción en el suministro sobre el sistema. De la misma forma, observamos que el stock de seguridad del minorista tiene un impacto significativo sobre el impacto de la disrupción; es decir, ajustar este parámetro nos permite mitigar los efectos de la interrupción en el suministro.

Por último, cabe resaltar que, cómo es de esperar, la duración de la disrupción tiene un impacto muy significativo sobre el nivel de servicio del cliente en comparación con el de un año normal.

A continuación, realizamos el mismo análisis para la métrica Y2, que se puede ver en la tabla 5.2.

Tabla 5.2: Cálculo Anova Y2

Analysis of Variance					
Source	Sum Sq.	d.f.	Mean Sq.	F	Prob>F
X1	8821.9	1	8821.95	56.87	0
X2	3800.8	1	3800.84	24.5	0
X3	172.6	1	172.65	1.11	0.2943
X4	2224.4	1	2224.42	14.34	0.0003
X5	1969.8	1	1969.77	12.7	0.0006
X6	207.6	1	207.62	1.34	0.2504
X7	254	1	254	1.64	0.204
Error	13650.4	88	155.12		
Total	31101.6	95			

Constrained (Type III) sums of squares.

Fuente: Elaboración propia

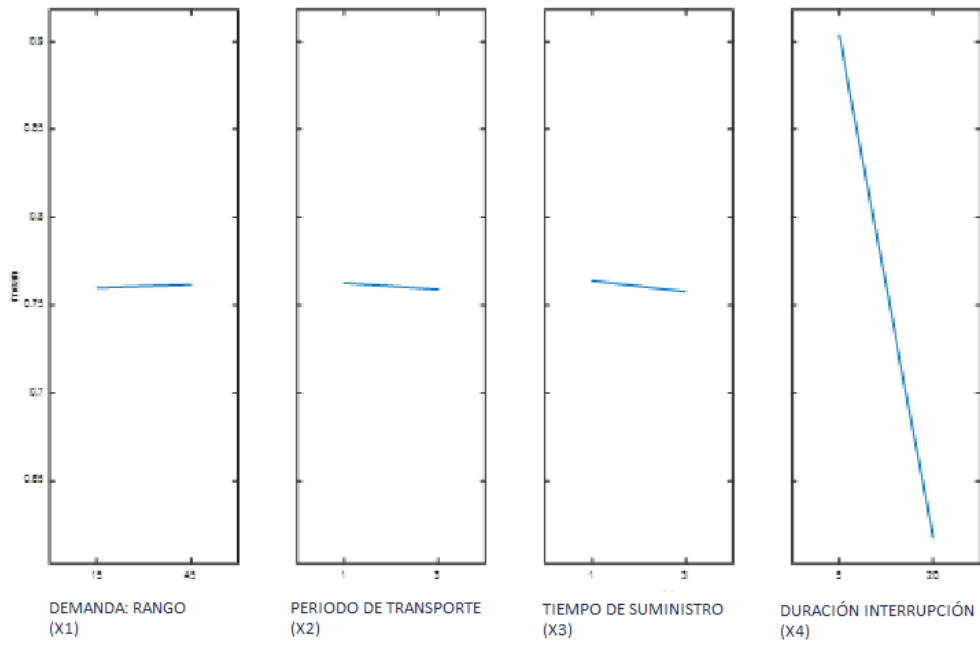
En este caso, las variables que impactan sobre la salida son las siguientes:

- X1: Rango de variación de la demanda del consumidor (no controlable)
- X2: Periodo de transporte (no controlable)
- X4: Duración de la interrupción en el suministro (no controlable)
- X5: Regulador proporcional del minorista (controlable)

Es interesante resaltar que mientras el periodo de transporte (X2) puede reducir o amplificar el impacto de la disrupción sobre el efecto “Bullwhip” relativo, no ocurre lo mismo con el tiempo de suministro. Por otro lado, cabe mencionar que el rango de variación de la demanda del consumidor también afecta al impacto de la disrupción en el sistema.

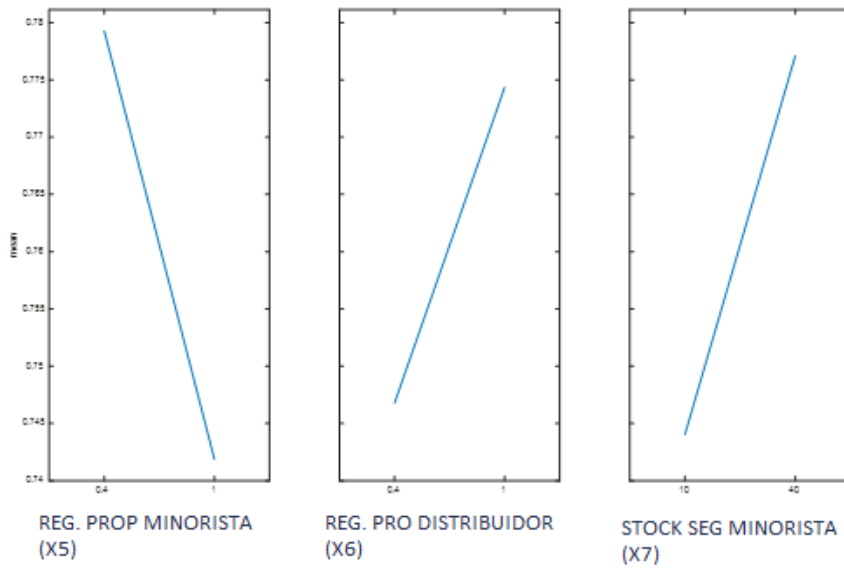
En cuanto a los parámetros controlables, el único cuyo impacto es significativo en este caso es el regulador proporcional del minorista. Actuar sobre este parámetro nos permite evitar que el efecto Bullwhip se incremente de forma significativa en el año de la disrupción; sin embargo, actuar sobre el stock de seguridad del minorista y/o sobre el regulador proporcional del distribuidor no tiene un impacto significativo sobre el indicador considerado. Después de haber realizado los estudios ANOVA, podemos pasar a la segunda parte del análisis en la que estudiaremos los “efectos principales”. Una vez se sabe que variables afectan a la salida, ahora trataremos de observar cómo afectan. Para ello, incluimos las ilustraciones 5.1 y 5.2, que se refieren al NSC relativo (Y1).

Ilustración 5.1: Efectos principales sobre Y1: Parámetros no controlables



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 5.2: Efectos principales sobre Y1: Parámetros controlables



Fuente: Elaboración propia

De todos los efectos principales nos interesan aquellos de las variables que anteriormente se han identificado como significativas, es decir:

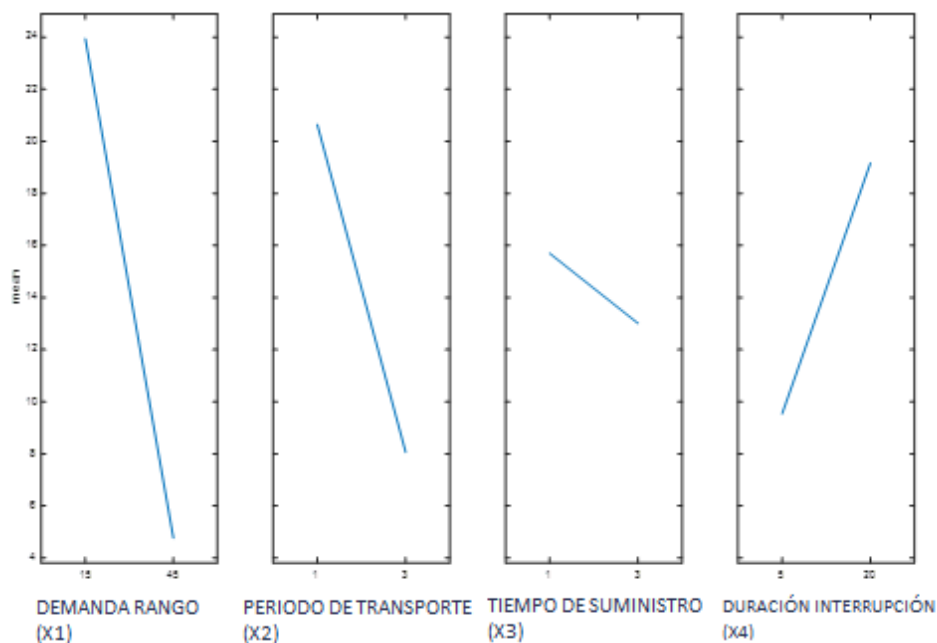
- X4: Duración de la interrupción en el suministro (no controlable)
- X5: Regulador proporcional del minorista (controlable)
- X6: Regulador proporcional del distribuidor (controlable)
- X7: Stock de seguridad del minorista (controlable)

El efecto de X4 sobre el sistema es claro, cuanto mayor sea el tiempo que dura la disrupción, mayor será la diferencia entre ese año y el resto.

En cuanto a las variables X5, X6 y X7, podemos observar cómo es posible reducir el impacto de la disrupción sobre el sistema. Para ello, hay que utilizar valores bajos (próximos a 0.4) en el regulador proporcional del minorista, valores altos (próximos a 1) en el del distribuidor, y valores altos en el del stock de seguridad.

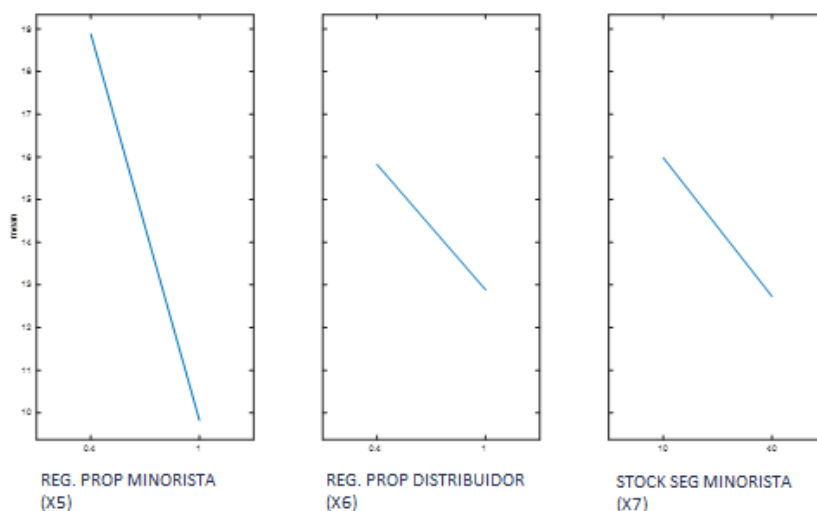
A continuación, se pueden ver las ilustraciones 5.3 y 5.4, que se refieren al efecto “Bullwhip” relativo.

Ilustración 5.3: Efectos principales sobre Y2: Parámetros no controlables



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 5.4: Efectos principales sobre Y2: Parámetros controlables



Fuente: Elaboración propia

En este caso, las variables que impactan sobre la salida, como vimos en el análisis ANOVA, son:

- X1: Rango de variación de la demanda del consumidor (no controlable)
- X2: Periodo de transporte (no controlable)
- X4: Duración de la interrupción en el suministro (no controlable)
- X5: Regulador proporcional del minorista (controlable)

En este punto podemos observar que, para una alta variabilidad en la demanda, el efecto “Bullwhip” se reduce. Esto ocurre a menudo, y se explica porque la variabilidad de la demanda se incluye en el denominador de la fórmula del efecto “Bullwhip”. Es decir, un incremento en la variabilidad en la demanda se traduce generalmente en un incremento en la variabilidad en el sistema de producción, pero a menudo este incremento ocurre en menor proporción, y por eso el efecto “Bullwhip” decrece, aún cuando la variabilidad en el sistema de producción se incrementa.

En segundo lugar, vemos que cuando el periodo de transporte es elevado, el incremento del efecto “Bullwhip” es menor. Esta relación es interesante, ya que generalmente en sistemas de producción es muy difícil de gestionar periodos de transporte largos. Sin embargo, la existencia de un periodo de transporte largo da cierto margen a la cadena de suministro para mitigar el impacto de la disrupción sobre el cliente.

En tercer lugar, volvemos a observar aquí que cuanto mayor sea el tiempo que dura la interrupción en el suministro, mayor será la diferencia entre ese año y un año normal.

Por último, podemos encontrar evidencia suficiente para establecer que el uso de valores altos en el regulador proporcional del minorista nos permite evitar que el efecto “Bullwhip” relativo aumente demasiado.

6. CONCLUSIONES

En este apartado vamos a sintetizar la información más importante que hemos obtenido del estudio de simulación que hemos realizado. Lo que se pretendía con esta investigación era explorar cómo afecta una disrupción en una cadena de suministro, y analizar si la aplicación de una política de control de inventarios del tipo abastecimiento amortiguado podría tener un efecto positivo en la corrección de la disrupción.

Tras haber realizado el análisis, hemos encontrado interesantes hallazgos que explicaremos a continuación.

El impacto de la interrupción en la operación de la fábrica sobre el resto de la cadena de suministro es claro; durante la duración de esta, el porcentaje de la demanda satisfecha por la fábrica cae hasta 0%, esto implica que los minoristas no tienen producto para vender en las tiendas y por tanto los consumidores no tienen producto que comprar, luego podría considerarse una situación de desabastecimiento. En estas condiciones, hemos observado que, como es previsible, cuanto mayor sea el tiempo de la disrupción, mayor será su impacto sobre el sistema.

Además, hemos podido obtener las siguientes conclusiones relacionadas con el impacto de los parámetros clave del estudio:

- Se puede reducir el efecto de la disrupción sobre el nivel de servicio al consumidor si establecemos un regulador proporcional de inventarios a nivel bajo para el minorista (es decir, para los niveles más cercanos al cliente) y a nivel alto para el mayorista (es decir, para los niveles más lejanos del cliente).
- Se puede mitigar el impacto de la disrupción sobre el efecto Bullwhip en la cadena de suministro si utilizamos un regulador proporcional de inventarios a nivel alto para el minorista (es decir, para los niveles más cercanos al cliente). Nótese que aquí, teniendo en cuenta el punto anterior, emerge un dilema que los gestores de cadenas de suministro tendrán que considerar: se ha de buscar un nivel del regulador intermedio que proporcione un equilibrio adecuado entre el impacto positivo de regulaciones bajas sobre el nivel de servicio al consumidor y de regulaciones altas sobre el efecto Bullwhip.
- El uso de elevados stocks de seguridad para el minorista nos permite reducir el impacto de la interrupción sobre el sistema desde la perspectiva del nivel del servicio al consumidor. Sin embargo, el stock de seguridad no afecta de forma significativa al impacto de la disrupción en la generación de efecto Bullwhip en la cadena de suministro.
- Se ha podido observar que cuando tenemos periodos de transporte altos, el impacto de la disrupción sobre el efecto Bullwhip se mitiga. Sin embargo, el tiempo de suministro no ha demostrado tener un impacto significativo sobre el efecto de la interrupción en el rendimiento de la cadena de suministro.

En términos generales, un hallazgo interesante de este estudio es que las reglas de abastecimiento amortiguado nos permiten minimizar el impacto de la disrupción sobre el sistema. Es decir, estas políticas de pedido, que generalmente se utilizan para reducir el efecto Bullwhip en la cadena de suministro, también nos permiten mitigar el denominado efecto Ripple. Además, tras haber realizado el análisis al completo he observado que el uso de este tipo de modelos nos permite explicar la mayoría de los casos reales a través de las simulaciones haciendo uso de programas de uso “habitual” como puede ser el Microsoft Excel. El hecho de haber utilizado este tipo de simulaciones para entender el



comportamiento dinámico de las cadenas de suministro permite entender efectos reales con una ínfima parte de los costes de un estudio campo y un ahorro en tiempo muy importante.

7. BIBLIOGRAFÍA

PÁGINAS WEB CONSULTADAS:

- EAE Business School (2015): <https://retos-operaciones-logistica.eae.es/sistema-erp-y-la-integracion-de-la-cadena-de-suministro/> (Consultada en mayo de 2020)
- EAE Business School (2017): <https://retos-operaciones-logistica.eae.es/que-tener-en-cuenta-a-la-hora-de-realizar-el-diseno-de-la-cadena-de-suministro/> (Consultada en mayo de 2020)
- Economipedia (2020): <https://economipedia.com/definiciones/globalizacion.html> (Consultado en mayo de 2020)
- IEBS School (2013): <https://www.iebschool.com/blog/efecto-latigo-logistica/> (Consultada en mayo de 2020)
- Microtech (2020): <https://www.microtech.es/blog/cu%C3%A1les-son-las-diferencias-entre-un-mrp-y-un-erp> (Consultada en mayo de 2020)
- Wikipedia (2020): <https://es.wikipedia.org/wiki/Globalización> (Consultada en mayo de 2020)

PROGRAMAS UTILIZADOS:

- MATLAB
- Microsoft Excel

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Bowersox D. J. (1969): “Physical distribution development, current status, and potential.”, pp. 63–70.
- Cannella, S.; Ciancimino, E.; Framinan, J. M.; Disney, S. M. (2010): “Los cuatro arquetipos de las cadenas de suministro”, *Universia Business Review*. n.º. 26, pp. 134-149.
- Forrester J. W. (1961): “Industrial dynamics” MIT Press, Cambridge.
- Geoffrion A.M., Graves GW (1974): “Multicommodity distribution system design by benders decomposition”, *Manag Sci*, n.º29, pp. 822–844.
- Günther H-O (2005): “Supply chain management and advanced planning systems: a tutorial.”, pp 3–40.
- Hendricks K. B.; Singhal V. R. (2005): “Association between supply chain glitches and operating performance”, *Manag Sci* 51, pp. 695–711.
- Ivanov D.; Tsipoulanidis A.; Schönberger J.; (2019): “Global Supply Chain and Operations”.
- Ivanov D.; Dolgui A. (2018): “Low-Certainty-Need (LCN) supply chains: a new perspective in managing disruption risks and resilience” *Int J Prod Res*.
- Potter A.; Disney S. M. (2010): “Removing Bullwhip from the Tesco supply Chain”.
- Sheffi J. (2005): “The resilient enterprise”, MIT Press, Massachusetts.