

Boletín de Estudios Económicos

Bulletin of Economic Studies

Haciendo realidad la revolución ASG
Making the ESG revolution a reality

Vol. LXXVII / Diciembre 2022 Núm. 233

DOI: <https://doi.org/10.18543/bee772332022>

AUTORES INVITADOS / GUEST CONTRIBUTORS

Cadenas de suministro antifrágiles: un nuevo paradigma en la gestión de inventarios
Antifragile supply chains: a new paradigm in inventory management

María Osaba-Esteban

doi:<https://doi.org/10.18543/bee.2606>

Recibido: 20 de noviembre de 2022 • Aceptado: 22 de noviembre de 2022 • Publicado en línea: marzo de 2023

Acceso Abierto, Copias Impresas y Derechos de Autoría

El *Boletín de Estudios Económicos* es una revista de **acceso abierto**, lo que significa que todo el contenido está disponible gratuitamente para los usuarios y sus instituciones. Los usuarios pueden leer, descargar, copiar, distribuir, imprimir, buscar o enlazar los textos completos de los artículos, o utilizarlos para cualquier otro fin lícito, sin pedir permiso previo a la Editorial o al autor; siempre que se cite adecuadamente el trabajo original y se indique claramente cualquier modificación del mismo. Esto se ajusta a la definición de acceso abierto de la OAI.

Se pueden proporcionar **copias impresas** de la revista si se solicita. Se trata de copias en color, impresas y acabadas profesionalmente. Las copias impresas tienen un coste. Para pedir una copia impresa de un artículo o de un número, envíe un correo electrónico al editor de producción con su solicitud (<beejournal@deusto.es>).

Cuando los autores envían un artículo para su revisión y publicación en el *Boletín de Estudios Económicos*, conservan sus **derechos de autor**, pero aceptan automáticamente conceder los derechos de publicación no exclusivos a la Editorial (del *Boletín de Estudios Económicos*) y aceptan que el artículo se publique bajo una licencia *Creative Commons*, si el artículo es aceptado para su publicación. Se recomienda a los autores que lean atentamente sus derechos. Creemos que este enfoque garantiza un acuerdo justo para ambas partes. La licencia concedida permite a la Editorial editar y maquetar el artículo, que se incluirá en un próximo número y se distribuirá en cualquier medio *online* y *offline* que la Editorial considere necesario para promocionar el artículo, los autores y la revista. Este párrafo se incluye en las Directrices para los autores.

Para más información sobre la licencia Creative Commons, visite:
<https://creativecommons.org>.

Open Access, Hard Copies and Copyright

The *Bulletin of Economic Studies* is an **Open Access** journal which means that all its content is available free of charge to users and their institutions. Users are allowed to read, download, copy, distribute, print, search, or link to the full texts of the articles, or use them for any other lawful purpose, without asking prior permission from the publisher or the author; provided the original work is properly cited and any changes to the original are clearly indicated. This is in accordance with the OAI definition of Open Access.

Hard copies of the journal can be provided upon request. These are colour copies, professionally printed and finished. Hard copies incur a fee. To order a hard copy of an article or an issue, please email the production editor with your request (<beejournal@deusto.es>).

When authors submit a paper for reviewing and publishing, they retain their **copyright**, but they automatically agree to grant non-exclusive publishing rights to the Publisher and agree that the paper will be published under a Creative Commons licence, if the paper is accepted for publication. Authors are encouraged to read their rights carefully. We believe this approach ensures a fair arrangement for both parties. The licence granted allows the Publisher to edit and typeset the paper, which will be included in a forthcoming issue and distributed in any online and offline medium that the journal deems necessary in order to promote the paper, the authors, and the Journal. This paragraph is included in the Guidelines for Authors.

For more information about the Creative Commons Licence, please visit:
<https://creativecommons.org>.

Boletín de Estudios Económicos

ISSN (Papel): 0006-6249 • ISSN (Electrónico): 2951-6722 • Vol LXXVII - N.º 233 - Diciembre 2022, págs. 137-153

<https://bee.revistas.deusto.es>

DEUSTO BUSINESS ALUMNI

CADENAS DE SUMINISTRO ANTIFRÁGILES: UN NUEVO PARADIGMA EN LA GESTIÓN DE INVENTARIOS

ANTIFRAGILE SUPPLY CHAINS: A NEW PARADIGM IN INVENTORY MANAGEMENT

María Osaba-Esteban
Deusto Business School

doi: <https://doi.org/10.18543/bee.2606>

Recibido: 20 de noviembre de 2022
Aceptado: 22 de noviembre de 2022
Publicado en línea: marzo de 2023

RESUMEN

En el año 2012, Taleb planteó un innovador concepto, la ‘antifragilidad’, que es una capacidad potencialmente desarrollable por personas, sistemas, organizaciones. También por cadenas de suministro. La sub-disciplina de Gestión de Riesgos de la Cadena de Suministro (*SCRM-Supply Chain Risk Management*) está empezando a adoptar este nuevo enfoque, tan necesario en la actualidad, tanto por las características del contexto como por las prácticas empresariales más extendidas en la gestión de la cadena de suministro de los últimos 30 años. Este artículo presenta este concepto y sus implicaciones de gestión, junto con aplicaciones específicas en la gestión de inventarios.

Palabras clave: Cadena de suministro, Antifragilidad, Stock, Inventario

ABSTRACT

In 2012, Taleb put forward an innovative concept, ‘antifragility’, which is a capability potentially developable by people, systems, and organizations. Also, by supply chains. The sub-discipline of SCRM (Supply Chain Risk Management) is beginning to adopt this new approach, so necessary today, both because of the characteristics of the context and because of the most widespread business practices in supply chain management over the last 30 years. This article works on this concept and its management implications, together with specific applications in inventory management.

Keywords: Supply Chain, Antifragility, Stock, Inventory

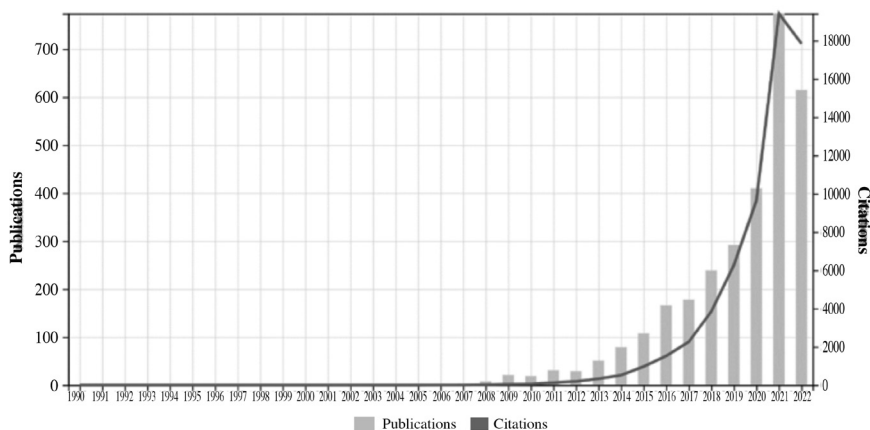
1. Introducción

Desde el inicio de la pandemia por COVID-19, la literatura académica ha experimentado un gran crecimiento alrededor del análisis de la ‘resiliencia’. La figura 1 ilustra esta situación con un gran incremento de las publicaciones sobre este tema, que ha pasado de 21 publicaciones en 2009

a 774 en el año 2021 en la plataforma *Web of Science*. Esta explosión es reflejo de la creciente preocupación que se generó desde los primeros momentos de confinamiento en que se produjeron grandes disrupciones en las cadenas de suministro globales; especialmente notorios en la cadena de suministro farmacéutica, por el incremento de la demanda y el colapso de la oferta¹. En el mismo sentido, y a pesar de la reducción de demanda por el confinamiento y estar alejados del sector sanitario, otros sectores también sufrieron problemas de suministro en el medio plazo².

Figura 1

Evolución de las citas y publicaciones sobre ‘Resiliencia en la cadena de suministro’ en *Web of Science*



Fecha de acceso a los datos: 05/10/2022. Búsqueda: ALL=(“supply chain resilience”)

En la primavera de 2020, estábamos realmente preocupados por tener mascarillas, equipos de protección individual, geles hidroalcohólicos y acelerar el proceso de desarrollo y fabricación de vacunas para combatir el COVID-19. Pero, además, estaban quedando afectadas industrias como la de los semiconductores y se estaba colapsando el transporte marítimo

¹ <https://www.who.int/es/news/item/03-03-2020-shortage-of-personal-protective-equipment-endangering-health-workers-worldwide>

² <https://www.nytimes.com/es/2021/09/01/espanol/escasez-productos-covid.html>

contenerizado, causando olas de disrupciones en sectores alejados del de la salud, cuyos efectos han durado mucho más allá de los momentos más duros de la pandemia.

Inicialmente, la pregunta estaba clara: “¿cómo hemos podido llegar hasta aquí?”. Pues bien, la pandemia ponía de manifiesto las debilidades del modelo de cadenas de suministro globales y la relevancia del concepto de ‘resiliencia’ en las prioridades empresariales (Alicke et al., 2021). Y, a continuación, surgía la siguiente pregunta: “¿qué podemos hacer?”. Las empresas se tenían que adaptar en un corto espacio de tiempo a unas condiciones totalmente diferentes: trabajadores teletrabajando, escasez de productos, falta de fiabilidad de las fuentes habituales de suministro... Y en este proceso de adaptación era necesario replantear y rediseñar algunas operaciones básicas tanto de las compañías individuales como de las cadenas de suministro.

Lamentablemente, han pasado dos años y parece que la incertidumbre se ha apoderado del momento y que tendremos que prepararnos para resistir ante nuevas crisis, que se suceden unas a otras. Cuando parecía que el mundo se preparaba para salir de la pandemia, estalló una guerra en Europa que ha impactado de lleno en los precios de las materias primas y de la energía, generando una inflación en Europa que no se producía desde los años 80³.

En este artículo se pretende esbozar una respuesta a estas dos preguntas. En primer lugar, se plantea un repaso de las corrientes de gestión de la cadena de suministro dominantes hasta el momento, así como de los principales retos que nos empujan hacia una reflexión sobre la resiliencia de nuestras cadenas de suministro. En segundo lugar, se plantea un concepto que va más allá de la tradicional ‘resiliencia’, la ‘antifragilidad’, aplicada a las cadenas de suministro. Finalmente, y con el objetivo de ser más específicos en la aplicación del concepto, se presentan algunas ideas sobre cómo antifragilizar las cadenas de suministro desde la gestión de inventarios.

2. El camino hacia las disrupciones

La pandemia por COVID-19 no es un cisne negro. Lo dijo el propio creador del término, Nassim Nicholas Taleb en el año 2021. Según Taleb

³ <https://www.economista.es/economia/noticias/11910234/08/22/Sin-techo-a-la-vida-mas-de-la-mitad-de-la-UE-forma-parte-del-club-de-la-inflacion-superior-al-10.html>

(2007), un “cisne negro” es un evento con las siguientes características: (1) es un caso atípico y nada en el pasado sugiere su posibilidad; (2) tiene un impacto extremo; y (3) a pesar de ser un hecho atípico, las explicaciones posteriores hacen que el acontecimiento parezca explicable y predecible. Lo cierto es que la pandemia por COVID-19 no era un hecho atípico, hemos convivido con situaciones similares durante toda la historia. Son célebres los casos de la peste negra del s. XIV o la gripe española de 1918. Sin embargo, nuestras predicciones no habían valorado que, en el caldo de cultivo de las cadenas de suministro globales, el virus tendría un impacto tan fuerte y con una propagación tan rápida.

Podríamos empezar este camino en los años 90. El paradigma de la gestión de operaciones, en el camino hacia la excelencia, era la combinación entre lo *‘lean’* y lo *‘agile’*: la *‘Leagility’* (Ivanov, D., 2020). El paradigma *‘lean’* se basaba en la eliminación del desperdicio y de los errores y propugnaba modelos como el *‘Just-in-time’* y los *‘inventarios cero’* (Martin & Towill, 2000). El *‘Lean Management’* había trascendido de las fronteras de las fábricas y se había convertido en una filosofía de gestión, con el caso de éxito del modelo de fabricación de Toyota como máximo exponente. El paradigma *‘agile’*, sin embargo, conectaba con la flexibilidad en la fabricación y se centraba en ofrecer una mejor respuesta al mercado (Martin & Towill, 2000).

Si bien en un primer momento pudieron ser paradigmas algo contrapuestos, numerosos autores (Goldsby et al., 2006; Martin & Towill, 2000) trabajaron en la unión de ambos paradigmas, dando lugar a la *‘Leagility’* y nos explicaron que la *‘mass customization’* era posible. Jugando con las diferentes actividades desarrolladas en la cadena de suministro, ésta se podía enfocar a la vez en la reducción de costes, muy típico al ir aguas arriba en la cadena de suministro, y dejar una fase final de personalización ya muy cerca del consumidor. El *‘postponement’* era la evidencia de que la tradicional confrontación entre las economías de escala y la personalización era posible (Feitzinger & Lee, 1997).

Esta corriente fue la impulsora, junto con la reducción de barreras al comercio exterior y las mejoras en el transporte contenerizado e intermodal, de las cadenas de suministro globales que, basadas en una reducción del coste, localizaron algunas actividades en áreas geográficamente distanciadas de los centros de consumo (Sako, 2022). Precisamente, en los 90, la Gestión de Operaciones abrió sus miras desde la organización hacia la cadena de suministro (Wilson, 2018). Las cadenas de suministro se volvieron complejas. Y la complejidad incrementó la vulnerabilidad (Tummala & Schoenherr, 2011).

3. De la ‘resiliencia’ a la ‘antifragilidad’

Aunque en el mundo empresarial las cadenas de suministro globales hoy siguen totalmente vigentes, desde principios del siglo XXI el mundo académico empezó a interesarse, por separado, en la Sostenibilidad de la Cadena de Suministro (SSCM – *Sustainable Supply Chain Management*) y en la Gestión de Riesgos de la Cadena de Suministro (SCRM – *Supply Chain Risk Management*). Este interés venía derivado de los efectos del cambio climático y de los desastres naturales de la década de los 2000 (Ivanov, 2020), aunque tampoco se puede olvidar el efecto del 11-S en la literatura de la SCRM (Jüttner, 2005).

Específicamente, la SCRM puede definirse como “la identificación, evaluación y priorización de los riesgos, seguida de la aplicación coordinada y económica de los recursos para minimizar, supervisar y controlar la probabilidad y/o el impacto de los eventos desafortunados o para maximizar la realización de las oportunidades” (APICS, 2019: 164). En el campo de la SCRM se plantean dos grandes grupos de perturbaciones que afectan a las cadenas de suministro: los desastres climáticos y las catástrofes antropogénicas (Shashi et al., 2020). Y en el año 2022, como se ha indicado, no se puede obviar ninguno de estos riesgos.

En el contexto de la SCRM, tradicionalmente lo que no es ‘frágil’ es ‘resiliente’ y la resiliencia se relaciona con la capacidad para volver al estado anterior al que se tenía antes de un impacto. Cuanto más robusto o resiliente sea un sistema, menores serán las consecuencias negativas de un impacto. En este planteamiento, el énfasis se pone en minimizar lo negativo (Nikookar et al., 2021), sin reparar en que de una crisis también se puede salir fortalecido.

Y es el énfasis en las consecuencias positivas lo que diferencia a la ‘antifragilidad’ de la ‘resiliencia’. Eso es precisamente lo que nos plantea Taleb: “*Hay cosas que se benefician de las crisis; prosperan y crecen al verse expuestas a la volatilidad, al azar, al desorden y a los estresores, y les encanta la aventura, el riesgo y la incertidumbre. Pero, a pesar de la omnipresencia de este fenómeno, no existe una palabra que designe exactamente lo contrario de lo frágil. Aquí lo llamaremos antifrágil. La antifragilidad es más que resiliencia o robustez. Lo resiliente aguanta los choques y sigue igual; lo antifrágil mejora. (...) A lo antifrágil le encanta lo aleatorio y lo incierto, lo que también significa – y esto es fundamental – que adora los errores, una clase determinada de errores*” (Taleb, N., 2012: 3-4). Es decir, que podemos encontrar, sistemas, organizaciones, personas capaces de salir fortalecidos de una crisis o de un impacto y

que no están tan enfocados en que no haya errores (como en la filosofía ‘lean’) sino que asumen que los errores existen y que lo importante es aprender de ellos.

En un contexto incierto, en el que los impactos son cada vez más abundantes y frecuentes, en un entorno que se ha caracterizado como ‘VUCA’ (*Volatile/Volátil – Uncertain/Incierto – Complex/Complejo – Ambiguous/Ambiguo*), desarrollar esta capacidad puede marcar la diferencia en la carrera por la supervivencia empresarial. De hecho, el propio Taleb indica que la ‘antifragilidad’ está detrás de la supervivencia empresarial (Taleb, 2012).

4. Qué es una cadena de suministro antifrágil

Las cadenas de suministro antifrágiles se caracterizan por su capacidad para convertir los retos del entorno (cambios en las tendencias, impactos, disrupciones) en oportunidades. Se trata de cadenas especialmente dinámicas, fluidas, con una gran capacidad de evolución y adaptación, que son capaces de mejorar en un entorno que otras cadenas considerarían hostil o adverso, ya que no se centran en evitar lo negativo sino de construir en positivo (Nikookar et al., 2021). En este planteamiento se da por hecho que la antifragilidad de la cadena de suministro no se construye por la suma de antifragilidades individuales, sino que es una capacidad que se plantea para el conjunto.

Un concepto similar es el de la ‘cadena de suministro viable’ de Ivanov (2020), centrada en la supervivencia a largo plazo, y que conecta la resiliencia con la sostenibilidad y la capacidad de adaptación. En esa misma línea, encontramos autores que han revisado el término ‘resiliencia’ en el sentido de resiliencia social-ecológica (Wieland, 2021). Y en la propia definición de cadena de suministro antifrágil va embebida que esta antifragilidad no tiene un enfoque únicamente económico, sino que puede también tener una vertiente social y ecológica (Nikookar et al., 2021).

Sin embargo, también es necesario destacar, para ser justos, que una ‘cadena de suministro antifrágil’, aunque no con este nombre, ya se ha planteado por otros autores de SCM, que indican que es posible hacer frente a los desafíos del entorno y salir incluso en mejor posición (Adobor, 2020; Carpenter et al., 2001; Christopher & Peck, 2004). De hecho, algunas de las definiciones de SCRM más recientes ya están incluyendo este concepto más cercano a la ‘antifragilidad’, que tiene que ver con esta visión positiva. Por ejemplo, se puede comparar la actual definición del

diccionario de APICS de SCRM, incluida en la sección 3ª de este artículo (la de la 16ª edición, la más reciente) con la de la edición de 2008 (la 12ª edición) en la que se incluye el término ‘*risk management planning*’ y se define como: “el proceso de definir cómo identificar y minimizar los riesgos de un proyecto” (APICS, 2008: 120). Nótese que en la edición de 2008 ni siquiera se incluye la definición de ‘resiliencia’, sino sólo la de ‘robustez’.

Así que el concepto de ‘antifragilidad’ puede considerarse un neologismo, a lo mejor innecesario si utilizamos estas acepciones más recientes de la resiliencia, pero, como indica Taleb (2012), es necesario disponer de una palabra que nos deje claro que estamos ante esta nueva acepción y no frente a la tradicional ‘resiliencia’.

5. Los inventarios como potenciales creadores de antifragilidad

Desde un punto de vista teórico, los inventarios tienen la capacidad de acomparar las diferentes velocidades de la oferta y de la demanda. El paradigma ‘*lean*’, basado en que la oferta y las actividades de aprovisionamiento y producción pueden estar perfectamente sincronizadas con la demanda y que el mantenimiento de inventarios supone costes para las empresas, ha propugnado su minimización hasta llegar al lema extremo de los ‘Inventarios Cero’. Sin embargo, algunos autores han puesto en duda el concepto ‘*Just-in-Time*’ y han utilizado el término ‘*Just-in-Case*’, resaltando que el ‘*Just-in-Time*’ puede ser una estrategia poco efectiva en ambientes poco controlados (Srinidhi & Tayi, 2004). Es decir, que dado que la realidad está sujeta a imperfecciones, éstas no se pueden obviar y es necesario disponer de reservas que permitan afrontar estas situaciones.

Así, la tabla 1 recoge las principales ventajas y desventajas de tener inventarios y la tabla 2 recoge los principales costes derivados de los inventarios.

La cuestión de fondo es que es necesario asumir estos costes en alguna medida, pero en la mente de los gestores de operaciones siempre está el concepto de mantener un equilibrio entre las necesidades que los inventarios tratan de cubrir y los costes que estamos dispuestos a asumir. Esta necesidad de equilibrio está en la base del modelo de optimización que planteó Wilson (1934) y que, a pesar de las numerosas críticas que ha recibido desde la disciplina (e.g. Noblitt, 2001), sigue siendo útil en las empresas si lo adaptamos a nuestras necesidades: el EOQ (*Economic Order Quantity*). El Anexo A incluye los gráficos, funciones asociadas, junto con la formulación del modelo EOQ.

Tabla 1

Ventajas y desventajas de los inventarios físicos

VENTAJAS Motivos por los que tener inventarios	DESVENTAJAS Razones para no tener inventarios
<ul style="list-style-type: none"> • Son un seguro contra la incertidumbre • Permiten que las operaciones aprovechen las oportunidades a corto plazo • Pueden reducir los costes generales • Dan continuidad a la cadena de producción • Requieren de espacio de almacenamiento • Esconden problemas operativos • Pueden contrarrestar la falta de flexibilidad • Pueden utilizarse para anticiparse a las demandas futuras • Pueden aumentar su valor 	<ul style="list-style-type: none"> • Suponen costes: Inmovilizan capital circulante y conllevan costes administrativos y de seguros • Pueden quedar dañados, obsoletos o caducados con el paso del tiempo

Fuente: Elaboración propia a partir de Slack & Brandon-Jones (2018).

Tabla 2

Costes de los inventarios

Costes de lanzamiento de pedidos	Costes de posesión de inventarios
<p>Se incluyen bajo este epígrafe todos los costes derivados de realizar un pedido, por ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Costes administrativos de la emisión de los pedidos, desde el personal dedicado hasta los costes de los sistemas de información que hacen propiamente el envío • Costes administrativos por organizar entregas (y transporte en su caso) • Costes generales de mantenimiento de la documentación (por ejemplo, el coste imputable de los sistemas de información) 	<p>Se incluyen bajo este epígrafe todos los costes que se producen por el mantenimiento de inventarios, por ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Costes de almacenamiento propiamente dichos: instalaciones, climatización, iluminación, etc. • Costes de caducidad y obsolescencia • Costes derivados de los daños que pueden sufrir los materiales • Costes del capital circulante necesario para financiar los inventarios • Costes de seguros para prevenir las pérdidas asociadas

Fuente: Elaboración propia a partir de Slack & Brandon-Jones (2018).

Cuando repasamos las principales razones para tener inventarios, dos de ellas destacan por su contribución a la antifragilidad: los inventarios nos protegen de la incertidumbre y compensan la falta de flexibilidad de las operaciones en la cadena de suministro. Por definición, una cadena de suministro antifrágil debe ser flexible y adaptable, y, además, puede obtener resultados positivos en un mundo incierto y volátil. Los inventarios pueden dejar de ser una carga pesada, para ser creadores de oportunidades. Es evidente que la propia tenencia de inventarios no está exenta de riesgos, como se repasa en la Tabla 1, pero un inventario suficiente, ajustado y, sobre todo, “saneado” también es creador de fortalezas.

Alcanzar la antifragilidad supone mucho más que crear reservas estratégicas o mejorar las políticas de inventario actuales. Sin embargo, es mucho más sencillo y abordable en el corto plazo revisar e incrementar inventarios que modificar la base de proveedores (Alicke et al., 2021; Shih, 2020), por lo que el análisis de las políticas de inventario podría ser el primer paso hacia una cadena antifrágil, seguido de otras medidas de mayor calado que incrementen la flexibilidad en la capacidad productiva y creen un modelo de localización de proveedores estratégicos “de proximidad”.

6. En busca del equilibrio: algunas orientaciones

En un mundo incierto, optimizar el nivel de inventario pasa necesariamente por una buena predicción de la demanda, teniendo esto un impacto directo en el nivel del *stock* de seguridad. En ese sentido, la Inteligencia Artificial y el Aprendizaje Automático (*Machine Learning*) son tecnologías 4.0 que ofrecen un buen soporte a la mejora de las estimaciones (Nguyen et al., 2021). Y la inclusión de fuentes de información adicionales del entorno como patrones climáticos (Sako, 2022), combinando modelos de series temporales con modelos causales, puede ofrecer mejores resultados en la estimación de la demanda.

Profundizando en el *stock* de seguridad, la otra fuente de incertidumbre de la que éste nos protege es de la incertidumbre aguas arriba. En este campo, es fundamental una buena recopilación de datos históricos del comportamiento del proveedor, que puede combinarse con la monitorización de operaciones en tiempo real, usando tecnologías como RFID (*Radio Frequency Identification*) o sensores e IoT (*Internet of Things*). También en estas estimaciones se pueden incluir variables de entorno, como los retrasos portuarios, para que el algoritmo de Inteligencia Ar-

tificial combine elementos causales, con información en tiempo real e histórica y nos podamos anticipar a la falta de suministro.

En todo caso, cuando nos enfrentamos al cálculo del *stock* de seguridad (se puede consultar su formulación en el Anexo B), además de unos valores correctos en los parámetros de cálculo, es importante tener una política equilibrada, y para ello, las herramientas de segmentación son fundamentales. Sobre todo, en el caso de las empresas de distribución, actualmente el número de referencias es muy elevado, derivado del incremento de productos C a través de la venta por Internet (Brynjolfsson et al., 2011), y, por lo tanto, la política de stock de seguridad debe ser diferente para diferentes grupos de artículos.

En este equilibrio es importante tener en cuenta tanto el volumen como la variación de la demanda de los artículos. Esto no sirve únicamente para la definición de los niveles de servicio objetivo, sino también para decidir cuándo un producto puede estar en nuestro catálogo en stock o bajo pedido. En mi experiencia profesional, trabajar con dos variables de segmentación como la demanda en unidades y en valor, y añadir una tercera caracterización en función de la variabilidad de la demanda, puede crear una matriz de niveles de servicio algo compleja de gestionar, pero con un buen equilibrio coste – nivel de servicio y un inventario saneado (ver tabla 3).

Tabla 3

Ejemplo de fijación de diferentes niveles de servicio combinando diferentes análisis de segmentación

Clase según unidades demandadas	Clase según valor demandado	Clase según variabilidad de la demanda			
		Muy baja	Baja	Media	'Lumpy'
A	A	99,99%	99,9%	95%	85%
A	B	99,9%	99%	94%	82%
A	C	99%	97%	93%	80%
B	A	99,9%	99%	94%	82%
B	B	99%	97%	93%	80%
B	C	98%	95%	90%	75%
C	A	99%	98%	93%	80%
C	B	98%	95%	90%	75%
C	C	95%	90%	80%	70%

Finalmente, todo gestor de inventarios se enfrenta a dos efectos indeseados en las cadenas de suministro: el ‘efecto *bullwhip*’ (Lee et al., 1997) y el ‘efecto *ripple*’ (Ivanov et al., 2013). En este ambiente VUCA, lleno de incertidumbres por el lado de la oferta y de la demanda, el efecto *bullwhip* se está presentando incluso en variaciones muy pequeñas de la demanda, que están provocando sobrereacciones en la cadena ‘aguas arriba’ (Sheffi, 2022). Por su parte, el efecto *ripple* describe el impacto de la propagación de una interrupción en la cadena de suministro cuyo efecto se siente en cascada a lo largo de toda la cadena (Ivanov et al., 2013).

Una mayor visibilidad y colaboración entre los diferentes eslabones de la cadena de suministro son factores fundamentales para minimizar los impactos negativos y luchar contra la espiral de variabilidad que se produce en la conjunción de ambos efectos. En ese sentido, encontramos una pléyade de soluciones digitales que dan soporte a estos procesos, cada vez más conectados entre miembros. Algunas de estas soluciones llevan mucho tiempo establecidas, como el EDI (*Electronic Data Interchange*), mientras que otras están en fase mucho más incipiente (por ejemplo, la utilización de *Blockchain* para la trazabilidad). Trabajar sobre una misma plataforma estandarizada de datos reduce los errores a lo largo de la cadena de suministro, y permite a los clientes tener una información anticipada sobre sus envíos.

Pero, además, no podemos olvidar el papel amortiguador de los inventarios, mientras los sistemas productivos reaccionan. En ese sentido, el establecimiento de reservas estratégicas de productos específicos contribuye directamente a la antifragilidad, a la vez que garantiza el suministro a los consumidores y esto puede ser especialmente importante en algunos sectores, como el sanitario y la cadena de distribución farmacéutica.

7. Conclusiones

El contexto ha puesto a las cadenas de suministro en el punto de mira para garantizar nuestro modo de vida actual. Algunos de los grandes ahorros en costes que contribuyeron a la competitividad de las empresas en los 90, como la deslocalización de actividades productivas, están actualmente siendo objeto de revisión. Cadenas de suministro ‘tan’ globales y ‘tan’ complejas no parecen ser los modelos más adecuados en entornos ‘tan’ volátiles e inciertos. El contexto pide a las cadenas de suministro, a sus gestores, pero también a sus teóricos, un replanteamiento del paradig-

ma. Del mismo modo que hace veinte años se profundizó en la SCRM, como una sub-disciplina con entidad propia, hoy la SCRM debe evolucionar hacia la construcción de ‘antifragilidad’, mezcla de resiliencia, capacidad de adaptación, flexibilidad y fiabilidad.

Aún es pronto para poder dibujar un marco teórico-práctico que determine las ‘*best practices*’ respecto a cómo afrontar procesos, prácticas y gestión de recursos, humanos y tecnológicos, en las cadenas de suministro, si bien ya empieza a haber evidencias de prácticas y tecnologías concretas que contribuyen a la antifragilidad. En ese sentido, es necesario plantear medidas de medio y largo plazo, como la relocalización de proveedores, la implantación de soluciones digitales de soporte, y el incremento de visibilidad y colaboración en la cadena de suministro, para combatir los efectos *bullwhip* y *ripple*, pero, además, es necesario combinarlas con otras medidas que pueden ser implementadas de un modo más sencillo, al menos en el tiempo, como la revisión de las políticas de gestión de inventarios.

Así, a pesar de que la tendencia en los últimos 30 años ha buscado la minimización de los niveles de inventario, es el momento de replantearse la creación de reservas estratégicas de productos esenciales, que garanticen canales con un abastecimiento suficiente en un periodo de tiempo razonable. Algunas tecnologías punteras como la Inteligencia Artificial son un buen soporte para la mejora de las previsiones, pero hay otras medidas más modestas, en tanto que únicamente requieren un replanteamiento del modelo y no necesariamente una inversión, que pueden ayudar a las empresas a mantener estos inventarios necesarios. Herramientas como la segmentación de la demanda para definir niveles de *stock* de seguridad bien enfocados pueden equilibrar el tener un gran surtido junto con un enfoque en los productos más críticos.

A los inventarios les ha pasado lo mismo que a la resiliencia. Parece que solo pensamos en ellos en negativo. La antifragilidad nos invita a aprovechar las oportunidades en un entorno incierto. Una mirada más positiva hacia los inventarios también nos puede permitir a aprovechar las oportunidades del entorno. Dejar de verlos como una carga financiera es un reto. Más allá de las tácticas específicas, ser antifrágil es una capacidad que las empresas deben desarrollar, junto con la innovación o el liderazgo, y en la cadena de suministro tiene muchas vertientes, no conviene desaprovechar las oportunidades.

Referencias

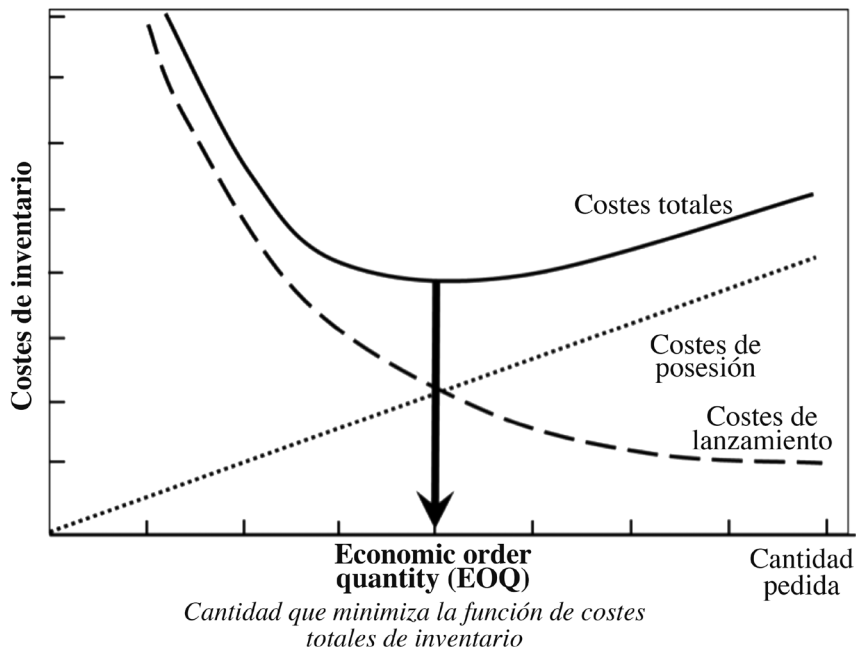
- Adobor, H. (2020). Supply chain resilience: An adaptive cycle approach. *The International Journal of Logistics Management*, 31(3), 443-463. DOI:10.1108/IJLM-01-2020-0019
- Alicke, K., Barribal, E. & Trautwein, V. (2021). How COVID-19 is reshaping supply chains. Retrieved from bit.ly/3AXsvqj
- APICS. (2008). *APICS dictionary* (12th ed.). Chicago, Ill: APICS.
- APICS. (2019). *APICS dictionary: The essential supply chain reference* (16th ed.) APICS. Retrieved from <http://cds.cern.ch/record/1992292>
- Brynjolfsson, E., Hu, Y., & Simester, D. (2011). Goodbye pareto principle, hello long tail: The effect of search costs on the concentration of product sales. *Management Science*, 57(8), 1373-1386. DOI:10.1287/mnsc.1110.1371
- Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J.M., & Abel, N. (2001). From metaphor to measurement: Resilience of what to what? *Ecosystems*, 4(8), 765-781. DOI:10.1007/s10021-001-0045-9
- Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the resilient supply chain. *The International Journal of Logistics Management*, 15(2), 1-14. DOI:10.1108/09574090410700275
- Feitzinger, E., & Lee, H.L. (1997). Mass customization at Hewlett Packard: The power of postponement. *Harvard Business Review*, 75, 116-123.
- Goldsby, T.J., Griffis, S.E., & Roath, A.S. (2006). Modeling lean, agile, and leagile supply chain strategies. *Journal of Business Logistics*, 27(1), 57-80. DOI:10.1002/j.2158-1592.2006.tb00241.x
- Ivanov, D. (2020). Viable supply chain model: Integrating agility, resilience and sustainability perspectives—lessons from and thinking beyond the COVID-19 pandemic. *Annals of Operations Research*, 1-21. DOI:10.1007/s10479-020-03640-6
- Ivanov, D., Sokolov, B., & Dolgui, A. (2013). The ripple effect in supply chains: Trade-off ‘efficiency-flexibility-resilience’ in disruption management. *International Journal of Production Research*, 52(7), 2154-2172. DOI:10.1080/00207543.2013.858836
- Jüttner, U. (2005). Supply chain risk management. *The International Journal of Logistics Management*, 16(1), 120-141. DOI:10.1108/09574090510617385
- Lee, H. L., Padmanabhan, V., & Whang, S. (1997). Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect. *Management Science*, 43(4), 546-558. DOI:10.1287/mnsc.43.4.546
- Martin, C., & Towill, D.R. (2000). Supply chain migration from lean and functional to agile and customised. *Supply Chain Management*, 5(4), 206-213. DOI:10.1108/13598540010347334
- Nguyen, A., Lamouri, S., Pellerin, R., Tamayo, S., & Leks, B. (2021). Data analytics in pharmaceutical supply chains: State of the art, opportunities, and challenges. *International Journal of Production Research*, 1-20. DOI:10.1080/00207543.2021.1950937

- Nikookar, E., Varsei, M., & Wieland, A. (2021). Gaining from disorder: Making the case for antifragility in purchasing and supply chain management. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 27(3), 100699. DOI:10.1016/j.pur-sup.2021.100699
- Noblitt, J.M. (2001). EOQ. panacea or plague? *APICS–The Performance Advantage*, 53-57.
- Sako, M. (2022). Global supply chain disruption and resilience. *Communications of the ACM*, 65(4), 18-21. DOI:10.1145/3517216
- Shashi, Centobelli, Cerchione, & Ertz. (2020). Managing supply chain resilience to pursue business and environmental strategies. *Business Strategy and the Environment*, 29(3), 1215-1246. DOI:10.1002/bse.2428
- Sheffi, Y. (2022). Prepare for the bullwhip's sting. *MIT Sloan Management Review*, 63(2), 1-5.
- Shih, W.C. (2020). Global supply chains in a post-pandemic world: Companies need to make their networks more resilient; here's how. *Harvard Business Review*, 98(5), 82.
- Slack, N., & Brandon-Jones, A. (2018). Operations and process management (Fifth edition). Harlow, England: Pearson.
- Srinidhi, B., & Tayi, G.K. (2004). Just in time or just in case? an explanatory model with informational and incentive effects. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 15(7), 567-574. DOI:10.1108/17410380410555817
- Taleb, N.N. (2012). *Antifragile* (1th Ed.). GB: Penguin Books Ltd.
- Taleb, N.N. (2007). *The black swan*. New York: Random House.
- Tummala, R., & Schoenherr, T. (2011). Assessing and managing risks using the supply chain risk management process (SCRMP). *Supply Chain Management*, 16(6), 474-483. DOI:10.1108/13598541111171165
- Wieland, A. (2021). Dancing the supply chain: Toward transformative supply chain management. *The Journal of Supply Chain Management*, 57(1), 58-73. DOI:10.1111/jscm.12248
- Wilson, J.M. (2018). Deconstructing the reinvention of operations management. *Journal of Management History* (2006), 24(2), 128-155. DOI:10.1108/JMH-06-2017-0028
- Wilson, R.H. (1934). A scientific routine for stock control. *Harvard Business Review*, 13, 116.

Anexo I

Modelo de costes, funciones de costes asociadas y formulación del EOQ, a partir del modelo de Wilson (1934)

A.1. Curva de Costes



A.2. Funciones de Costes

$$\text{Costes totales de lanzamiento en el periodo} = CO \frac{D}{Q}$$

Donde CO son los costes de lanzamiento (por pedido), D es la demanda en el periodo de planificación y Q es la de cantidad pedida. $\frac{D}{Q}$ es la frecuencia del pedido (número de pedidos en el horizonte de planificación).

$$\text{Costes totales de posesión de stock} = CH \frac{D}{Q}$$

Donde CH son los costes de posesión por unidad en el horizonte de planificación, D es la demanda en el periodo de planificación y Q es la de cantidad pedida. $\frac{Q}{2}$ es el inventario medio en el periodo de planificación.

Así, podemos calcular los costes totales de inventario en el periodo

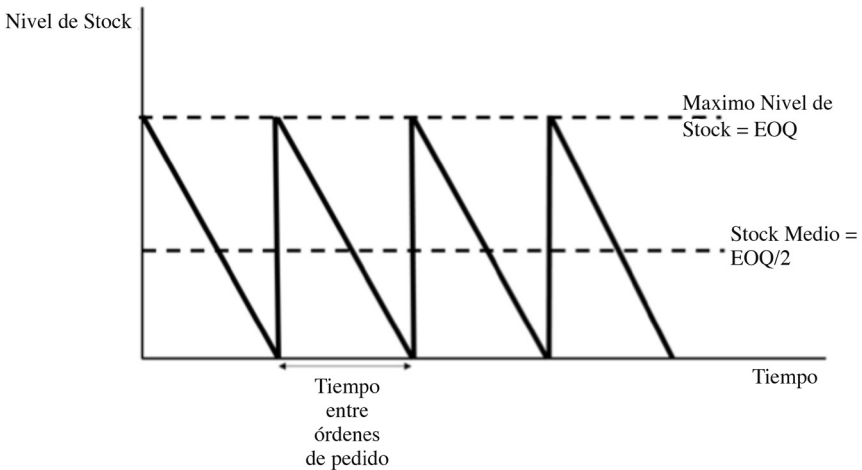
$$\text{Costes totales de inventario en el periodo} = CH \frac{Q}{2} + CO \frac{D}{Q}$$

A.3. Formulación del EOQ (Economic Order Quantity)

Minimizando la función de costes totales, se obtiene la fórmula del EOQ (Economic Order Quantity):

$$\text{Tamaño óptimo del pedido} = \text{EOQ} = \sqrt{\frac{2 * D * CO}{CH}}$$

A.4. Perfil de inventario asociado



Anexo II

Formulación del *stock* de seguridad

B.1. Fórmula del *Stock* de Seguridad cuando la variación en la demanda y la variación en el *lead-time* son independientes

$$SS = Z * \sqrt{(LT_{avg} * \sigma_D^2) + (D_{avg} * \sigma_{LT})^2}$$

Donde *SS* es el *stock* de seguridad, *Z* es el valor de la distribución normal que deja una cola a la derecha donde la probabilidad de la no ruptura de *stock* es equivalente al nivel de servicio deseado, LT_{avg} es el promedio del *lead-time*, σ_D^2 es la varianza de la demanda en el horizonte de planificación, D_{avg} es el promedio de la demanda en el horizonte de planificación y σ_{LT} es la desviación típica del *lead-time*.

B.2. Fórmula del *Stock* de Seguridad cuando la variación en la demanda y la variación en el *lead-time* no son independientes

$$SS = Z * \sqrt{LT_{avg} * \sigma_D} + Z * D_{avg} * \sigma_{LT}$$

Donde *SS* es el *stock* de seguridad, *Z* es el valor de la distribución normal que deja una cola a la derecha donde la probabilidad de la no ruptura de *stock* es equivalente al nivel de servicio deseado, LT_{avg} es el promedio del *lead-time*, σ_D es la desviación típica de la demanda en el horizonte de planificación, D_{avg} es el promedio de la demanda en el horizonte de planificación y σ_{LT} es la desviación típica del *lead-time*.

