

Analítica de datos en cadenas de suministro

Renzo Luongo Akiki
Facultad de Ingeniería, Universidad de la República
Montevideo, Uruguay
renzo.luongo.akiki@fing.edu.uy

Resumen—En las últimas décadas se han dado importantes cambios a nivel de consumo en la sociedad al mismo tiempo que se observó una proliferación de tecnologías vinculadas a la generación, almacenamiento y procesamiento de datos. Esto ha resultado en una inevitable transformación digital de las cadenas de suministro que sustentan la satisfacción de la demanda que tales consumidores tienen. En el presente trabajo se ofrece una perspectiva global de dicha transformación, describiendo los desafíos y oportunidades que ella, y más específicamente la analítica de datos, suponen para las cadenas de suministro. Para ello, se comienza por analizar las causas que favorecen los cambios, luego se describen los obstáculos que las cadenas enfrentan para lograr explotar los datos, y posteriormente se hace un relevamiento de oportunidades que brinda la analítica de datos a las cadenas de suministro, tanto desde el estado del arte como a partir de ejemplos reales de la industria.

I. INTRODUCCIÓN

Las cadenas de suministro podrían considerarse los cimientos de la economía mundial. La gestión de estas abarca a todos los procesos involucrados en llevar un producto o servicio desde su productor o prestador hasta su consumidor final. En líneas generales, puede resumirse a cuatro flujos: flujo físico de productos hacia el consumidor, flujo de dinero, flujo de información y flujo reverso de productos al finalizar el ciclo de vida del producto (reciclaje, reutilización, desecho, etcétera). Cada uno de estos flujos involucrará muchos procesos y varios actores.

En los últimos tiempos la globalización, la digitalización y los cambios de comportamiento de mercados y consumidores han complejizado mucho a las cadenas de suministro. La creciente globalización ha permitido la adquisición de clientes y proveedores anteriormente inalcanzables. Al mismo tiempo, las tendencias de mercado y demandas fluctúan más rápidamente en la medida que se acorta el ciclo de vida de los productos y éstos son cada vez más personalizados a la medida de cada consumidor. Por último, pero quizás más importante aún, la digitalización ha provocado un vertiginoso aumento del volumen en el antes mencionado flujo de la información en las cadenas de suministro.

A lo largo de las cadenas de suministro existirán muchos puntos de recolección de información, tanto estructurada (SKUs, tiempos, montos, cantidades), como no estructurada (imágenes, audio, video, texto). Ésta se generará tanto de forma manual por parte de personas (listas de chequeo, recuentos de inventarios, adendas, recibos, remitos), como por parte de dispositivos electrónicos (RFID, cámaras, lectores de código de barras). A medida que se desarrollan tecnologías

como el denominado “internet de las cosas” y que aumenta la accesibilidad a las mismas, la tendencia es hacia la generación de información por parte de dispositivos en detrimento de aquella generada por personas; lo cual tiende a disminuir algunos problemas de calidad de datos y a aumentar el volumen de éstos. Así, el flujo de información se ha vuelto cada vez mayor y más sofisticado, haciendo del almacenamiento, procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos uno de los más grandes desafíos, y a la vez oportunidades, para las cadenas de suministro.

La necesidad de adaptarse a esta creciente tendencia para mejorar la performance de las cadenas de suministro y mantener la competitividad es más que evidente. Tanto la industria como la academia ya ha percibido la necesidad y los beneficios de implementar nuevas herramientas de gestión de grandes volúmenes de datos como las bases de datos no relacionales y las técnicas de analítica de “Big Data”.

El presente trabajo buscará brindar un abarcativo panorama sobre esta situación y algunos ejemplos de casos de éxito.

II. SISTEMAS DE INFORMACIÓN EN SUPPLY CHAIN

A modo de simplificación, se puede reducir la variedad de actores de las cadenas de suministro a proveedor, productor, gestor logístico (administradores de depósitos y transportistas), distribuidores o comerciantes y consumidores. A lo largo de su cadena fluirán productos, dinero e información, tal como la Figura 1 lo representa.

Sin ahondar en detalles y dependiendo el caso, cada actor de la cadena tendrá sus propias operaciones que podrían involucrar almacenamiento de materias primas, producción, y almacenamiento y transporte tanto de productos en proceso como de productos terminados. Sin embargo, para cada uno de ellos, sus tareas girarán entorno a la gestión de tres elementos: sus proveedores, sus operaciones propias y sus ventas a clientes. De esta manera, es habitual que cada eslabón de la cadena tenga al menos tres sistemas de información correspondientes: Supplier Resource Management (SRP), Enterprise Resource Planning (ERP) y Customer Resource Management (CRM). A su vez, existen subsistemas del ERP como podrían serlo un Warehouse Management System (WMS) o un Transportation Management System (TMS).

II-A. La problemática

Incluso en empresas de buen porte, es habitual que estos sistemas se hayan diseñado de manera separada y con escasa o nula consideración de otros sistemas de información de

la propia empresa. Así, operaciones que están íntimamente vinculadas y cuyas decisiones tienen fuertes dependencias mutuas, suelen ser soportadas por sistemas de información con nula o muy limitada conexión. Ejemplo de ello podrían ser las actividades de compra y la gestión de stocks. No es raro que en una misma empresa los sistemas mediante los que se gestionan proveedores (SRM) y se colocan órdenes de compra no tengan vínculo alguno con aquellos que contienen la información acerca de los niveles de stock (WMS). Tener la información como silos independientes para operaciones tan estrechamente relacionadas resulta en intercambios de información por vías informales, malentendidos en la comunicación entre departamentos por no compartir una terminología común, y en última instancia en la toma de malas decisiones.

Considérese ahora cómo el problema anterior se ve aún más acentuado cuando el intercambio de información no es entre departamentos de una misma empresa sino entre distintas empresas de una cadena de suministro. Aunque es inherente a la cadena que cada uno de los actores de ella se necesitan mutuamente, es normal que haya empresas con distintos valores y objetivos, que la cadena en cuestión tenga distintos grados de relevancia para el negocio de cada actor y que éstos tengan distintas estrategias y horizontes temporales a la hora de gestionarse. Esta heterogeneidad junto a la amenaza de integraciones verticales y rispideces generadas en experiencias pasadas como duras negociaciones u operaciones problemáticas desemboca en tensiones y desconfianza. Así, relaciones comerciales que deberían ser de cooperación y buena comunicación para mutuo beneficio, pueden resultar en ocultamiento de información y malas decisiones.

El más común y claro ejemplo de ello es el efecto Forrester (también conocido como “efecto látigo”) por el cual un mínimo cambio en la demanda del consumidor al final de la cadena de suministro tiene enorme impacto aguas arriba debido a la poca transparencia en la comunicación a lo largo de la cadena [2]. Supóngase un leve aumento de demanda del consumidor final, luego cada eslabón al colocarle órdenes de compra a su proveedor incluye un buffer adicional incrementando la demanda que observa el eslabón anterior de la cadena, hasta que el productor observa un aumento enormemente mayor al real y se producen grandes aumentos de stock (ineficiencias) en toda la cadena de suministro. El lector puede familiarizarse con el efecto Forrester con la simulación de una cadena de

suministro de cerveza de MA System [3].

El efecto látigo es solamente uno de tantos ejemplos de problemas de comunicación y transparencia a lo largo de las cadenas de suministro. De hecho, existe toda un área de estudio al respecto conocida como Supply Chain Visibility (SCV) que busca aumentar la visibilidad e información sobre el estado de situación de las actividades a lo largo de la cadena de suministro para soportar la toma de decisiones.

II-B. Los nuevos desafíos

En este marco de sistemas de información poco integrados y comunicaciones deficientes, ya de por sí bastante caótico, las cadenas de suministro han sido parte de la vertiginosa tendencia al aumento del volumen de información que se observa en el mundo actual.

En los últimos años ha habido un incremento de accesibilidad a dispositivos electrónicos hiperconectados a tal punto que se acuñó el término “internet de las cosas” para referirse a una extensa gama de dispositivos electrónicos que están continuamente generando nuevos datos. Así, las cadenas de suministro han visto velozmente incrementada la cantidad de puntos en los que se genera información y una proliferación en el uso de dispositivos como smartphones, lectores de códigos de barra, RFID (identificación por radiofrecuencias), GPS, cámaras de video, grabaciones de audio y sensores de todo tipo para medir repetidamente las propiedades de productos (temperaturas, presiones, cantidades) así como el estado de los procesos.

A todas las fuentes de datos anteriores, se le agregan fuentes externas a la cadena de suministro pero que tienen relevancia para la toma de decisiones dentro de ésta: plataformas de libre acceso o venta de información (Factual, Data.com, Eurostat, EU Open Data Portal, Microsoft Azure Data Market, etc.), APIs como Google Search API que permite explorar tendencias, redes sociales y datos de navegación de usuarios en plataformas de e-commerce.

De esta manera, el volumen, variedad y velocidad de datos se disparó rápidamente ofreciendo a las cadenas de suministro los desafíos del Big Data: las arquitecturas convencionales como las bases de datos SQL ya no eran capaces de manejar estos nuevos volúmenes de información y los sistemas estaban diseñados pensando en los procesos de negocio, pero no en el potencial de almacenar, procesar y analizar Big Data.

Sin embargo, simultáneamente se fue haciendo cada vez más notorio el potencial del Big Data para la toma de decisiones con información en tiempo real, la disminución de ineficiencias, mejoras de pronósticos, perfeccionamiento de la planificación y reducción de riesgos, entre otros. Todos estos beneficios y nuevas oportunidades propiciaron la búsqueda de soluciones a los desafíos antes mencionados: comenzaron a utilizarse tecnologías como los sistemas de información distribuidos y el procesamiento en batch que permiten almacenar y procesar los nuevos volúmenes y variedad de datos. Progresivamente, se empezaron a adoptar tecnologías como el ecosistema Hadoop de Apache, las bases de datos NoSQL o Complex Event Processing (CEP) que permite la integración y

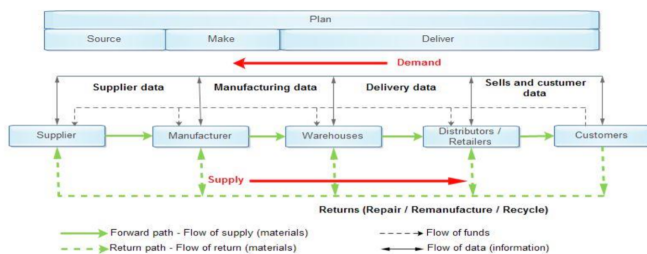


Figura 1: Flujos en cadenas de suministro, tomado de [1].

procesamiento de flujos de eventos como los que generan los dispositivos RFID, sensores y lectores de códigos de barra.

III. BIG DATA ANALYTICS EN SUPPLY CHAIN

Rápidamente la transformación digital de las cadenas de suministro captó la atención tanto de la academia como de la industria. Afortunadamente, ambos sectores fueron capaces de visualizar que vale la pena vencer la resistencia al cambio y afrontar los obstáculos de renovar los sistemas de información y las preocupaciones en torno a la seguridad de ésta para obtener los beneficios y oportunidades del Big Data en Supply Chain.

III-A. Estado del arte

En los últimos diez años, a medida que se fue evidenciando la potencialidad del Big Data aplicado a las cadenas de abastecimiento, hubo una proliferación de investigaciones, experimentos, teorías y planes piloto, generalmente registrados mediante la escritura de artículos a su respecto.

El campo del análisis de datos suele subdividirse en tres categorías: descriptivo, predictivo y prescriptivo. El análisis descriptivo, a menudo considerado el más simple de los tres, busca describir eventos pasados para comprender lo sucedido, transformando datos en información de valor. El predictivo, tal como su nombre lo indica, está orientado a conocer el futuro, saber qué es esperable que suceda. Por último, pero no menos importante, el análisis prescriptivo, pretende generar herramientas y mecanismos para la toma de decisiones.

Todos ellos tienen gran valor en el marco de Supply Chain, sin embargo, en el estado del arte hay cierta prevalencia de los últimos dos. El análisis predictivo es especialmente utilizado para tareas de planificación como el pronóstico de demanda, mientras que el análisis prescriptivo toma fundamental relevancia para la planificación de producción y de la logística de transporte. Típicos casos de ejemplo podrían ser la predicción de demanda aplicando técnicas de series de tiempo, modelos de programación lineal para la optimización de los recursos de manufactura y para problemas de ruteo como el "Traveling Salesman Problem (TSP)" que se suelen abordar con algoritmos basados en grafos.

La variedad de casos en que se puede aplicar la analítica de Big Data a cadenas de suministro es interminable. En la medida que esto se fue evidenciando en la segunda década de los 2000, hubo un aumento sostenido de publicaciones al respecto. A raíz de ello, hace unos años la editorial Elsevier publicó una investigación en la que se relevaron 88 artículos sobre Big Data Analytics en Supply Chain [4]. A continuación, en el Cuadro I, se presenta una categorización de dichos artículos que permite obtener un rápido panorama sobre el foco de atención de la academia. También se presentan dos visualizaciones de la proporción de estos artículos que refieren a cada función de la cadena de suministro y a cada tipo de analítica de datos en las Figura 2 y Figura 3, respectivamente.

De la Figura 2 se desprende que las actividades vinculadas al transporte y la manufactura son las sobre las que más se ha desarrollado el estado del arte, acaparando un 54 % de los

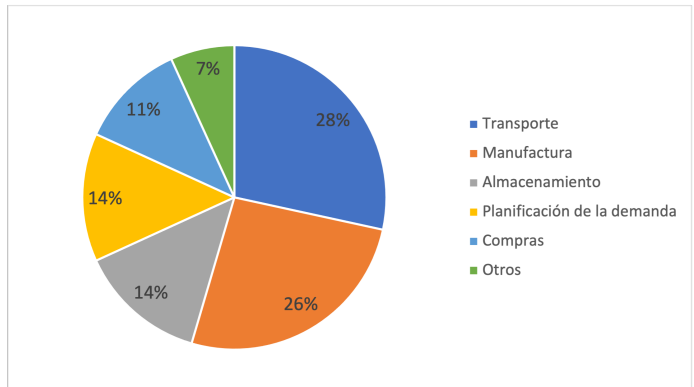


Figura 2: Distribución de artículos relevados en [4] según funciones de Supply Chain.

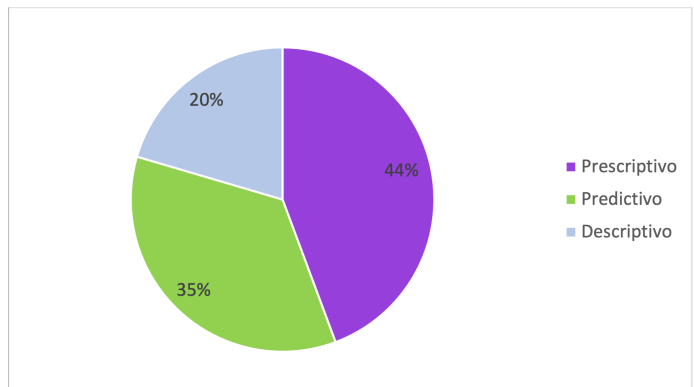


Figura 3: Distribución de artículos relevados en [4] según tipo de análisis de datos.

artículos relevados. Existen dos simples motivos por los que las publicaciones sobre de analítica de Big Data en cadenas de suministro se enfocan allí. Por un lado, se trata de las operaciones inherentemente más complejas en la cadena, y por otro, son muy intensivas en el uso de recursos, por lo que leve mejoras conducen a grandes ahorros e incrementos de la competitividad de la cadena. He de allí que el 56 % de las publicaciones en torno al transporte y la manufactura versen sobre el análisis prescriptivo.

Como ejemplo ilustrativo de la aplicación de análisis prescriptivo a la manufactura, se destacan los modelos de optimización con objetivos como obtener planes de producción que maximicen el beneficio en consideración de las restricciones de los recursos productivos y los requerimientos y márgenes de los diferentes productos finales. Luego de la analítica prescriptiva, en un segundo peldaño, para mejorar procesos de manufactura se encuentra el uso de técnicas predictivas. Allí se puede citar como ejemplo la predicción de fallas de maquinaria, cada vez más utilizada como apoyo para las tareas de mantenimiento preventivo.

En el área de transporte, la utilidad de herramientas de análisis de datos es muy grande. El clásico problema es el de ruteo en que se quiere minimizar el recorrido en el delivery

Cuadro I: Categorización de artículos relevados en [4].

	Descriptivo	Predictivo	Prescriptivo	Total
Compras	3	5	2	10
Manufactura	4	7	12	23
Almacenamiento	3	3	6	12
Transporte	4	6	15	25
Planificación de demanda	2	10	0	12
Otros	2	0	4	6
Total	18	31	39	88

de productos. Ya sea que la minimización del recorrido se haga en consideración de distancias o de costos asociados a los trayectos físicos, es inteligente para el problema la representación de la realidad mediante un grafo y el uso de algoritmos de travesía. A raíz de problemas como este y tantos similares es que en los últimos años se ha expandido fuertemente el uso de bases de datos de grafos como Neo4j. Este tipo de problemas es esperable que se modele de forma tal que resulte de alta complejidad computacional (np-hard o np-completos), resultando muchas veces inabordables si se cuenta con una base de datos relacional. Es por esta complejidad que, a excepción de las empresas más avanzadas tecnológicamente, se terminan utilizando métodos heurísticos no optimales. También se utiliza para el transporte analítica descriptiva de Big Data que permite el monitoreo en tiempo real de cada elemento debidamente identificado (desde unidades de productos hasta vehículos como camiones o barcos). Gran ejemplo de ello es el sistema RiskVis [5] que aumenta la visibilidad en la cadena basándose en información tanto interna como externa a la cadena, utilizando Google Maps y Baidu Maps. De esta manera, si se cuenta con un buen pipeline de datos, se pueden tomar decisiones en tiempo real que permitan minimizar tiempos y riesgos.

En relación al almacenamiento, un claro ejemplo de utilización de analítica descriptiva de Big Data es la visibilidad del inventario en tiempo real. Consiste en saber minuto a minuto qué nivel de stock se tiene para cada producto; la más evidente forma de evitar el riesgo del tan temido quiebre de stocks. Si bien parece muy sencillo, nuevamente es imprescindible para esto contar con un aceitado flujo de datos. Para ello, Walmart se ha basado en Apache Kafka [6], un software open source escrito en Java y Scala para streaming de eventos.

En cuanto al pronóstico de demanda cabe señalar que los modelos predictivos se llevan la mayor atención. En ellos suelen utilizarse series de tiempo con información histórica de la demanda y algoritmos como ARIMA, Prophet o Random Forest. Otras técnicas de analítica de datos que han tomado relevancia para los pronósticos de demanda últimamente son el scrapping de sitios de e-commerce y la utilización de APIs de tendencias de consumo.

Por último, con respecto a los procesos de compra, se observa una tendencia al alza en los modelos de reabastecimiento automático. Para ello obviamente es necesaria una vez más la visibilidad de inventarios en tiempo real y la automatización

de cálculos de lotes para determinar la orden de compra a colocar.

III-B. Casos de éxito

Si bien se han presentado a lo largo del trabajo varios ejemplos donde las cadenas de suministro se ven beneficiadas por el uso u obligadas a la implementación de herramientas de analítica de Big Data, en esta sección se mostrarán algunos casos adicionales que se han aplicado exitosamente en la industria o que se han diseñado a medida para alguna empresa o cadena.

Amazon, mayor e-commerce y proveedor de servicios en la nube (AWS) del mundo, patentó el 24 de diciembre de 2013 la “US Patent for Anticipatory Shipping”¹, el sistema de delivery que permite la famosa funcionalidad de “One Day Shipping”. Se trata de una poderosa, compleja y completísima herramienta basada en el procesamiento de datos en tiempo real, por la cual se despachan artículos hacia los consumidores antes de que éstos los ordenen. Los paquetes son enviados hacia zonas geográficas sin tener una dirección final de entrega, basándose en las probabilidades de que aparezca una orden de compra en dicha zona. Para esto se utilizan los tres tipos de análisis de Big Data. Por un lado, modelos predictivos para obtener las susodichas probabilidades de demanda. Por otro lado, la analítica descriptiva permite obtener toda la información de cada artículo que está en circulación, incluida su ubicación en tiempo real, con la que se estima el costo de alternativas como devolver el paquete hacia el punto de despacho o redireccionarlo ante la ausencia de órdenes de compra. Por último, el análisis prescriptivo ofrece alternativas basadas dichos costos. En primera instancia una alternativa podría ser fomentar el consumo de estos artículos en la zona de destino original mediante su sistema de recomendaciones al usuario. Luego, en segunda instancia, se puede utilizar el denominado “realtime pricing” por el cual se ofrecen descuentos en los artículos, que obviamente aumentarán conforme se incrementan los costos antes mencionados.

Lamentablemente, Amazon no ha expuesto detalles sobre los resultados de su implementación. Sin embargo, viendo cómo se ha acentuado la difusión y uso del shipping acelerado y que ha sido uno de los beneficios más comunicados del “Prime Membership”, es de suponer que la aplicación ha

¹<https://patents.google.com/patent/US8615473B2/en>

sido exitosa. Las ventajas de este sistema para la cadena de suministro incluyen el aumento en la ocupación de los recursos logísticos con una correspondiente reducción de costos de transporte y una baja en los lead times que favorecen la satisfacción del consumidor.

Los detalles de la información explotada por Amazon para poner en práctica la metodología, desafortunadamente, tampoco se hacen públicos ya que implicaría poner en riesgo una muy importante ventaja competitiva. De todas maneras, es evidente que entre los datos procesados para predecir que aparecerá una orden de compra tienen especial relevancia aquellos vinculados al proceso de compra de los usuarios de la zona hacia la que se despacha anticipadamente. Lo anterior incluye, por ejemplo, las páginas del sitio de Amazon que visitan y el tiempo dedicado en cada una de ellas, los links seguidos y aquellos no cliqueados pero sobre los que se posó el cursor, el tiempo que estuvo el cursor sobre ellos, historial del carrito de compras de los usuarios y resultados de modelos de asociación de productos que consideran el historial de ítems comprados.

Incluso dentro del mismo rubro de e-commerce se puede encontrar una inmensa gama de aplicaciones que utilizan distintas tecnologías y favorecen diferentes procesos de negocio. En ese sentido, se puede traer a colación el caso de OTTO. Sin acercarse a los volúmenes de Amazon, OTTO, un e-commerce nacido en Alemania, es uno de los más grandes del mundo liderando el mercado en más de veinte países, con ingresos anuales por 14.3 billones de euros y dos millones de usuarios visitando su sitio diariamente ².

Con el paso de los años, en la medida que su base de usuarios crecía y se ampliaba su catálogo de productos a varios millones de artículos distintos, los sistemas de información fueron resultando obsoletos e incapaces de brindar la experiencia de usuario en que OTTO basa su estrategia empresarial de largo plazo. Fue a raíz de ello que se comenzó un proceso de transformación digital basado en la implementación de una base de datos no relacional: MongoDB. Modelando el catálogo de productos mediante documentos JSON, OTTO logró la necesaria mejora de performance en las operaciones sobre la base de datos. Las actualizaciones de catálogo de productos que solían tomar doce horas lograron ejecutarse en tan solo quince minutos, multiplicando 48 veces la velocidad, al mismo tiempo que se redujeron los tiempos de desarrollo y testeo para nuevas funcionalidades.

Sin embargo, el impacto más relevante se dio a nivel de experiencia de usuario. La ágil dinámica de consumo actual hace que OTTO cuente con tan solo uno o dos segundos para acceder a la información del usuario en tiempo real mientras éste navega el sitio, y en función de esta decidir cómo reaccionar. A lo anterior se le agrega el mencionado vasto catálogo de productos con sus respectivos precios y niveles de stock que deben cambiar continuamente y siempre estar expuestos al usuario en el front end. Fue allí donde el modelo documental de MongoDB resultó especialmente

adecuado ya que, al evitarse consultar decenas de tablas con complejas relaciones para extraer esos datos, los tiempos de las operaciones de lectura fueron sensiblemente disminuidos. Esta mejora de performance permitió bajar los tiempos de respuesta en sus sitios tanto para PC como para dispositivos celulares y tablets. Al mismo tiempo, el cambio a nivel de base de datos permitió incorporar analítica en tiempo real de los diez mil eventos por segundo que se recopilan y almacenan en MongoDB conforme los usuarios utilizan las plataformas (movimientos de cursos, links utilizados, búsquedas hechas, etc.). Así, OTTO logra personalizar la experiencia del usuario lo cual aumenta su satisfacción, incrementa su fidelidad, su lifetime value y la conversión del sitio en general. De esta manera, el cambio desde una base de datos relacional hacia una documental termina resultando en un aumento de las ganancias de la empresa y mejorando sus perspectivas futuras.

IV. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

A lo largo del presente trabajo se ha expuesto que la globalización, cambios a nivel de mercados y consumo y el aumento de accesibilidad a tecnologías han resultado en un acelerado crecimiento en el volumen y variedad de datos vinculados a las cadenas de suministro que soportan la economía en todo el mundo. A su vez, se explicaron las dificultades que esto implicó e implica hasta el día de hoy para dichas cadenas, suscitando falencias en sus sistemas de información que han quedado obsoletos para los nuevos desafíos de una inminente transformación digital de las cadenas de suministro. De todos modos, a lo largo del trabajo se hizo hincapié en señalar que esta transformación implicaba grandes desafíos, pero aún mayores oportunidades. En ese sentido, se procedió a describir cómo la aplicación de nuevas tecnologías y la explotación de datos masivos, tanto de forma descriptiva, predictiva o prescriptiva, puede mejorar las distintas funciones de la cadena de suministro. Finalmente, se ilustró lo anterior presentando dos casos de éxito reales de la industria; una aplicación de analítica de Big Data en Amazon y la adopción de MongoDB por parte de OTTO.

Habiéndose expuesto las principales causas, obstáculos y oportunidades de la transformación digital de las cadenas de suministro, quedan sentadas las bases para futuros trabajos con mayor grado de especificidad sobre cómo sortear los obstáculos que se separan los desafíos del éxito en la transformación. Al mismo tiempo, dada la perspectiva generalista del presente trabajo, existe la oportunidad de centrarse en solamente alguno de los tantos beneficios de aplicación que se presentaron y ahondar en detalles de cómo lograrlo.

REFERENCIAS

- [1] Fares Zaidi, Laurent Amanton, Eric Sanlaville *A Proposal of NoSQL Enabled Logistics Information System Framework* 10th International Logistics Doctoral student Workshop, 2017. <https://hal-normandie-univ.archives-ouvertes.fr/hal-02114699>.
- [2] Wilmjakob Herlyn *The Bullwhip Effect in Expanded Supply Chains and the Concept of Cumulative Quantities* 9th Hamburg International Conference of Logistics, 2014. <https://www.researchgate.net/publication/313239968>.
- [3] MA System *Beer Game Simulation* <https://beergame.masystem.se/>.

²<https://www.mongodb.com/customers/otto>

- [4] Truong Nguyen , Li ZHOU , Virginia Spiegler , Petros Ieromonachou , Yong Lin. *Big data analytics in supply chain management: A state-of-the-art literature review* Elsevier Ltd., 2017.
- [5] R. Siow Mong, Z. Wang. *RiskVis: supply chain Visualization with Risk management and Real – time Monitoring* IEEE International Conference on Automation Science, 2013.
- [6] Suman Pattnaik. *Walmart's Real-Time Inventory System Powered by Apache Kafka* Confluent, Inc., 2020. <https://www.confluent.io/blog/walmart-real-time-inventory-management-using-kafka/>
- [7] Jens Leveling, Matthias Edelbrock, Boris Otto. *Big Data Analytics for Supply Chain Management* The IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2014. <https://www.researchgate.net/publication/269107422>
- [8] Ganjar Alfian, Muhammad Syafrudin, Jongtae Rhee. *Real-Time Monitoring System Using Smartphone-Based Sensors and NoSQL Database for Perishable Supply Chain* MDPI Sustainability, 2017. www.mdpi.com/journal/sustainability
- [9] Yong-Shin Kang, Il-Ha Park, Sekyoung Youm. *Performance Prediction of a MongoDB-Based Traceability System in Smart Factory Supply Chains* MDPI Sensors, 2016. www.mdpi.com/journal/sensors
- [10] Asena Denizeri. *Digital Transformation Journey in Supply Chain Planning* Logistics Viewpoints Business Intelligence, 2021. <https://logisticsviewpoints.com/2021/03/04/digital-transformation-supply-chain-planning/>
- [11] David White. *What is Hadoop and Why Should a Supply Chain Professional Care?* Logistics Viewpoints Business Intelligence, 2014. <https://logisticsviewpoints.com/2014/09/11/what-is-hadoop-and-why-should-a-supply-chain-professional-care/>
- [12] David White. *Dealing with Supply Chain Big Data* Logistics Viewpoints Business Intelligence, 2014. <https://logisticsviewpoints.com/2014/12/02/dealing-with-supply-chain-big-data/>
- [13] Ryan Murray. *An Agile Supply Chain at The Gap* MongoDB Inc., 2014. <https://www.mongodb.com/presentations/agile-supply-chain-gap-0>