

Evolución de la gestión de la cadena de suministro y la logística, desde una visión tecnológica y sostenible

Evolution of supply chain management and logistics, from a technological and sustainable perspective

Cristina Ramírez Meneses*

Resumen

Este artículo presenta una descripción de la evolución de la gestión de la cadena de suministro y la logística, frente a la inclusión de tecnologías emergentes de la cuarta revolución industrial y estrategias para la sostenibilidad, basada en una revisión literaria de tipo descriptiva focalizada en la búsqueda de información en artículos publicados en bases de datos especializadas entre el 2014 y 2020; se incluyeron, además, estudios de caracterización del sector logístico y políticas públicas disponible en línea.

La contribución de este trabajo es ilustrar las tendencias y necesidades actuales en el ámbito logístico, que sirva como base para el desarrollo de proyectos futuros de investigación aplicada, desarrollo tecnológico e innovación en los tópicos relacionados con la logística 4.0 y la sostenibilidad en las cadenas de suministro colombianas.

Palabras Clave:

Cadena de suministro, industria 4.0, logística 4.0, logística inversa, logística verde, sostenibilidad

Abstract

This article presents a description of supply chain management and logistics evolution, versus the inclusion of emerging technologies from the fourth industrial revolution and sustainability strategies, based on a descriptive literary review focused on the search for information in articles published in specialized databases between 2014 and 2020; studies of the characterization of the logistics sector and public policies available online were also included.

The contribution of this work is to illustrate current trends and needs in the logistics field, which serves as the basis for the development of future projects of applied research, technological development and innovation in topics related to logistics 4.0 and sustainability in Colombian supply chains.

Keywords:

Supply chain, industry 4.0, logistics 4.0, reverse logistics, green logistics, sustainability

* Fecha de recibido: 13/08/2020 Fecha de aceptación: 18/12/2020

Correo electrónico: cramirez@sena.edu.co

Citar como: Ramírez Meneses, C. (2020). Evolución de la gestión de la cadena de suministro y la logística, desde una visión tecnológica y sostenible. *Revista RETO*, 8.

Introducción

La gestión de la cadena de suministro y la logística desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de las organizaciones, de manera que hacen posible la disponibilidad de productos y servicios al consumidor final y, en consecuencia, el éxito financiero de las entidades involucradas. Sin embargo, su gestión no es una tarea trivial. La complejidad de esta labor, depende de las características diversificadas de las entidades involucradas en el sistema, y de múltiples factores internos y externos que redireccionan, frecuentemente, el desarrollo de la operación, lo cual exige actuar rápidamente ante los desafíos del mercado y la sociedad misma (Barbosa-Povoa & Pinto, 2019).

En la actualidad, la percepción del cliente y/o consumidor de un producto o servicio que adquiere, se relaciona con su identidad y no solamente con características tangibles que encuentre en él. La validación de aspectos como ciclos de vida más cortos de productos, personalización masiva, impulso de procesos y productos más sostenibles, y suministro rápido y efectivo adquiere mayor relevancia en la decisión de compra (Pérez Lara et al., 2016).

En el mismo sentido, el uso y evolución de las tecnologías emergentes en la cuarta revolución industrial ha generado cambios profundos, no solo en la industria, sino también en la sociedad. Herramientas como: el Internet de la industria de las cosas (IIoT), el big data, los robots autónomos, la simulación, la seguridad cibernética, y la computación en la nube, entre otros, han cambiado el ritmo y la forma en que se planifica y ejecuta el trabajo, la interacción entre procesos y actores, potencializando la capacidad de monitorear y leer el mercado (Barreto et al., 2017). Gracias a la adopción de tecnologías de la industria 4.0, las organizaciones tienen la oportunidad de mejorar la eficiencia en sus flujos de material e información. Los errores e interrupciones en el desarrollo de los procesos logísticos pueden evitarse gracias al intercambio continuo de datos entre las partes interesadas del sistema (Olessków-Szłapka et al., 2019).

Lo anterior da cuenta de los grandes retos a los que se enfrentan las empresas y cadenas de suministro, para adaptarse a la dinámica del en-

torno. La presente investigación presenta un panorama de las temáticas contemporáneas, que están siendo incorporadas en la gestión logística en la cadena de suministro a nivel mundial, con lo cual se pretende identificar tendencias y áreas de oportunidad, para los procesos de investigación aplicada desarrollados en este campo.

Metodología

Para la construcción de esta investigación, se desarrolló una revisión bibliográfica de tipo descriptiva sobre tendencias en la gestión de la cadena de suministro y logística. La información recopilada para el análisis y preparación de este artículo comprendió artículos publicados en bases de datos especializadas entre el 2014 y 2020; se incluyeron, además, estudios de caracterización del sector logístico y Política Nacional CONPES, disponible en línea.

Las palabras claves incluidas en el proceso de búsqueda fueron “supply chain management”, “Logística”, “Industria 4.0”, “logística 4.0”, “sostenibilidad”, “cadena de suministro”, “logística verde”, “logística Inversa”. Estas palabras fueron combinadas entre sí utilizando los operadores booleanos para mejorar la búsqueda.

Revisión de la literatura

Transformación de la gestión de la cadena de suministro y la logística

El concepto cadena de suministro o SC (por sus siglas en inglés Supply Chain) apareció por primera vez en 1985, cuando Houlihan la definió como un “sistema de entidades (proveedores, fabricantes, almacenadores, distribuidores, vendedores y clientes) en los cuáles existe un flujo de materiales, y la información fluye en ambas direcciones” (Villafañe, 2014, p. 32). Es decir, abarca todas las empresas que facilitan la disposición de un producto en el mercado en la cantidad, calidad y tiempo requerido (Barrascout de León, 2005).

El logro de los objetivos en la administración de la cadena de suministro o SCM (por sus siglas en inglés Supply Chain Management) depende, ineludiblemente, de la adecuada gestión de su sistema logístico, así como éste depende

de la buena planificación y sincronización de la SC. Aunque resulta complejo establecer límites conceptuales en estos dos términos, la logística es un concepto que no debe confundirse con la SCM, pues la logística es una parte del proceso de la SC orientada a planificar y coordinar el flujo efectivo de bienes, servicios e información desde el punto de origen hasta el punto de consumo, mientras la SCM se enmarca en procesos de decisiones estratégicas entre los actores involucrados (Vilana, 2007).

Lo anterior establece una relación directa e inquebrantable entre estos dos conceptos; ambos establecen sinergias y elementos claves para el logro de un objetivo común: “satisfacer la necesidad de los clientes generando rentabilidad para los actores involucrados en la SC”. A continuación, se describirá los cambios que han surgido en cada uno, a medida que las organizaciones acogen mejores prácticas para gestionar sus recursos y adaptarse a las exigencias del mercado. Por ejemplo, administrar la SC requiere de la sincronización estratégica de sus actores y la toma de decisiones conjuntas para lograr rentabilidad, entendimiento y la entrega de valor al cliente (Barrascout de León, 2005), tradicionalmente se trataba de procesos físicos de negociación, recolección de datos, análisis, baja visibilidad y dificultad para el trabajo colaborativo entre los actores. Mientras, los avances tecnológicos han permitido nuevas y mejores configuraciones para gestionar los vínculos entre los actores, el flujo de información casi en tiempo real integrando grandes volúmenes de datos provenientes de diferentes fuentes a lo largo de la SC facilitando el análisis y toma de decisiones estratégicas con menor grado de incertidumbre, aumentando los niveles de productividad y competitividad.

Autores como (Nakasumi, 2017), (Hanifan et al., 2014) y (Vilana, 2007) afirman que los cambios y exigencias de los mercados cada vez más competidos y personalizados estimulan la generación de transformaciones en la forma de administrar la SC. Ya no se trata de optimizar la eficiencia y estabilidad de los procesos como si se tratara de funciones aisladas. Por el contrario, se requiere de estrategias de integración y sincronización entre las diferentes funciones y etapas de la SC. Para (Hanifan et al., 2014), es necesario reinventarse para aprovechar todo el potencial

a través del uso de tecnologías digitales que faciliten la generación de una ventaja competitiva sostenible. Sin embargo, aunque los avances tecnológicos permiten a las empresas gestionar información y recursos colaborativamente, aún existe un gran número de empresas reacias a desplegar totalmente este tipo de estrategias gerenciales (Nakasumi, 2017).

No obstante, herramientas como el Internet de las cosas (IoT), computación en la nube, el big data, entre otros avances en la era 4.0, han integrado nuevas características y retos para las organizaciones y han transformado el estilo de hacer los procesos de negocio (Manocha et al., 2020), de modo que las han dirigido hacia una “red de suministro digital”. Este término es empleado por (Hanifan et al., 2014) para describir una SC más conectada, inteligente, escalable y rápida en la gestión de sus procesos. Incluso, se espera que en el futuro la convergencia y avances en estas tecnologías que conectan los sistemas digitales y físicos, logren cadenas de suministro con un mayor grado de autonomía, hasta llegar a convertirse “self-thinking supply chains” – o cadenas que piensan y actúan por sí mismas (Calatayud et al. 2018, citando en Calatayud & Katz, 2019).

Por otra parte, uno de los aspectos claves a tratar en la SCM y la logística en los últimos tiempos, son los impactos ambientales causados por las industrias de todo el mundo, lo cual está atrayendo cada vez más la atención de las organizaciones para incorporar aspectos de sostenibilidad en sus procesos (Tumpa et al., 2019). Las dinámicas del entorno actual exigen redes de colaboración para gestionar el ciclo de vida de productos y servicios, cada vez más estrictos frente a los tiempos de respuesta, experiencia percibida e impactos generados al medio ambiente y la sociedad.

En las siguientes secciones, se abordarán las características de la SCM y la logística contemporánea desde los aspectos de: inclusión de tecnologías emergentes en la cuarta revolución industrial que ha dado origen a la logística 4.0 y la sostenibilidad.

La industria 4.0

La industria y la sociedad misma han sufrido grandes transformaciones a través de la historia. El uso de nuevas fuentes energéticas como el carbón y las máquinas motrices (como la má-

quina de vapor) logró aumentar la eficiencia en la producción y el transporte, desarrollándose así la industria y el comercio; esto se definió como la primera revolución industrial (industria 1.0). Posteriormente, se reemplazó el vapor por la electricidad y derivados del petróleo, se adoptaron mejores formas de organizar el trabajo conocida como la producción en serie, lo cual permitió reducir los costos de fabricación e incrementar la productividad; dando origen a la segunda revolución industrial (industria 2.0). El siguiente hito que marcaría un gran cambio (industria 3.0) fue, sin duda, la implementación de la electrónica y la informática; el uso de computadoras y la automatización, facilitaron la inclusión de sistemas autónomos e inteligentes, de manera que se afianzó el camino para la actual cuarta revolución industrial, “la evolución de las tecnologías cibernéticas y su integración en los ecosistemas digitales de toda la cadena de valor” (Barreto et al., 2017), (Naya, 2018).

El término Industria 4.0 apareció por primera vez en la feria de Hannover de 2011, en el marco de la estrategia de alta tecnología del Gobierno federal alemán, y describía una producción industrial en la que todos los productos y máquinas están interconectados entre sí digitalmente (Sancho, 2017). Desde entonces, el concepto de industria 4.0 se ha ido ampliando e incluyendo diversos elementos o tecnologías apoyadas en la interconexión.

En general, el principal objetivo de la industria 4.0 es permitir la creación de sistemas de comunicación, inteligentes y autocontrolados. Autores como (Reiner, 2014) y (Hermann et al., 2016), describen como enfoques conceptuales de la industria 4.0 a los sistemas ciberfísicos o CPS (por sus siglas en inglés Cyber Physical System), la tecnología de internet, los componentes portadores de información y la seguridad integral, incluida la protección de la privacidad y el conocimiento. La combinación de estos elementos permite la fusión del mundo virtual y físico en escenarios de sistemas inteligentes.

Abordado el término, específicamente, desde un enfoque técnico, se habla de un conjunto de tecnologías que actúan como habilitadores de ecosistemas 4.0. Según el Boston Consulting Group (Rübmann et al., 2015) se identifican

nueve tecnologías o pilares fundamentales que soportan el desarrollo de la industria 4.0. A continuación, se describen las características de estas, las cuales, en un futuro, se integrarán a los procesos productivos en los diferentes sectores:

- Big data y análisis: comprende la recopilación y evaluación integral de grandes volúmenes de datos provenientes de diferentes fuentes para apoyar la toma de decisiones en tiempo real.
- Robots autónomos: son robots evolucionados, más autónomos, flexibles y cooperativos, que logran, eventualmente, la interacción entre sí, trabajando de manera segura al lado de los humanos y aprendiendo de ellos.
- Simulación: consiste en reflejar el mundo físico en un modelo virtual, integrando datos en tiempo real de máquinas, productos y humanos, con los cuales se permite probar y optimizar la configuración de sistemas en menor tiempo y con mayor calidad.
- Integración de sistemas horizontales y verticales: comprende los sistemas informáticos capaces de integrar datos de empresas, proveedores y clientes, así como las áreas de una organización; esto facilita la automatización de las cadenas de valor.
- Internet industrial de las cosas: sensores y dispositivos que se comunican e interactúan entre sí conectados al sistema de datos, facilitando el seguimiento en tiempo real de variables.
- Ciberseguridad: corresponde al tratamiento de amenazas en sistemas electrónicos, redes, dispositivos, computadoras y servidores, que ponen en riesgo la información que se almacena, procesa y transfiere en sistemas interconectados.
- La nube: esta herramienta permite almacenar y acceder a datos y programas a través de internet, de manera que amplía la capacidad de las organizaciones para intercambiar datos, y configura los sistemas en sus procesos productivos.
- Fabricación aditiva: elaboración de prototipos y producción de componentes individuales, o lotes pequeños de productos personalizados a través de impresión 3D, con lo cual se ofrecen ventajas competitivas al descentralizar la ope-

ración y al reducir los tiempos de respuesta, costos de transporte y el stock disponible.

- Realidad aumentada: integración de elementos gráficos (virtual) en una visualización del mundo real (físico) a través de dispositivos; a través de esta herramienta se logra seleccionar piezas en un almacén, enviar instrucciones de reparación y procedimientos de trabajo.

Finalmente, el auge de la industria 4.0: “es una transformación que permite recopilar y analizar datos entre máquinas, permitiendo procesos más rápidos, flexibles y eficientes para producir bienes de mayor calidad a costos reducidos” (Rübmann et al., 2015, p. 4). No obstante, esta revolución ha generado cambios profundos, no solo en el entorno industrial, sino también en la sociedad (Barreto et al., 2017), con la modificación del perfil de la fuerza laboral, así como la competitividad y la educación en las regiones.

Implicaciones en logística

La inmersión del concepto industria 4.0 en el campo logístico (logística 4.0) ha simbolizado la aplicación e integración de la electrónica, las tecnologías de la comunicación e innovaciones a lo largo de la cadena de valor (Naya, 2018), (Reiner, 2014), (Bartevyan, 2015), para generar ecosistemas automáticos, interconectados, flexibles y eficientes, que dan respuesta a las necesidades del mercado y los nuevos modelos de negocio (Barreto et al., 2017), (Strandhagen et al., 2017).

Uno de los conceptos tecnológicos transformadores visualizados con gran potencial para mejorar la eficiencia, responsabilidad, sostenibilidad y escalabilidad en los sistemas productivos y logísticos son los sistemas ciberfísicos (CPS) (Napoleone et al., 2020), (Frazzon et al., 2015). Estos son sistemas inteligentes contruidos a partir de la integración perfecta de componentes informativos (cibernéticos) y los componentes mecánicos o electrónicos y sensoriales (físicos) (Ozben et al., 2013). Con ellos, se logra, incluso, habilitar la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (machine learning), para interactuar entre sí o con humanos; pueden reconocer el entorno y tomar decisiones basados en la evidencia (Reiner, 2014), (Napoleone et al., 2020), (Frazzon et al., 2015).

Por otra parte, la tecnología de Internet (TI) moderna y futura proporciona enfoques esenciales

para mejorar el rendimiento de los CPS (Reiner, 2014); por ejemplo, el gran desarrollo del Internet de las cosas (IoT), logrado gracias a contribuciones de tecnologías como redes de sensores inalámbricos, identificación por radiofrecuencia (RFID), comunicación de campo cercano (NFC), Inteligencia ambiental (AmI), computación en la nube, entre otras, ha permitido la comunicación inteligente de objetos mediante direcciones IP (Diwan, 2016). En logística, esto permite obtener elementos que se controlan a sí mismos (Ozben et al., 2013), facilita el monitoreo remoto de las condiciones en los procesos logísticos y una mayor visibilidad y precisión de la información generada (Diwan, 2016), (Caro et al., 2018).

Sin embargo, el almacenamiento y análisis de grandes volúmenes de datos generados por estos sistemas requieren de técnicas de procesamiento especiales, considerando la velocidad y/o complejidad de su tratamiento (Khouri, 2014, como se citó en (Frazzon et al., 2015)). El Big data deberá significar, en un futuro, que la máquina capture, almacene, procese e, incluso, interprete las relaciones entre grandes volúmenes de datos provenientes de diferentes fuentes (Frazzon et al., 2015). Sin embargo, a medida que se dispone de mayor número de datos e información en la nube, crece también el riesgo de presentarse amenazas de seguridad que incluyen disponibilidad, bloqueo de datos, confidencialidad y auditalidad. La tecnología Blockchain genera una capacidad intrínseca de proporcionar registros inmutables y a prueba de manipulaciones (Caro et al., 2018), por lo que resulta ser una herramienta atractiva para transferir confianza en la trazabilidad de los eventos generados por múltiples actores en la SC (Sund et al., 2020).

Son múltiples los beneficios industriales que se asocian a la implementación de tecnologías 4.0 (Dalenogare et al., 2018). Las empresas adquieren mayor capacidad para analizar grandes cantidades de datos en tiempo real, con lo que se mejora la toma de decisiones estratégicas y operativas (Kagermann et al., 2013), (Savic et al., 2016). Las aplicaciones pueden variar de acuerdo con las necesidades de la organización y la complejidad de la SC. Por ejemplo, para obtener una logística 4.0 eficiente y sólida (Barreto et al., 2017) plantean la integración de CPS con innovaciones en los procesos logísticos y resal-

tan los beneficios en la planificación de recursos, los sistemas inteligentes en la gestión de almacenes y el transporte, así como la seguridad de la información. Por su parte, (Strandhagen et al., 2017) describen el entorno logístico 4.0 con aplicaciones como el análisis de Big data en tiempo real para procesos de enrutamiento de vehículos, control de productos, y fabricación rápida de robots y vehículos para el control de inventario y el flujo de información compartida en la nube en tiempo real. Mientras, (Yavas & Ozkan-Ozen, 2020) visualiza la configuración de centros logísticos 4.0, basado en la integración de criterios de sistemas inteligentes para el monitoreo, movimiento, localización y almacenamiento de mercancías, así como intercambio de información en tiempo real.

Lo anterior, no quiere decir que deba implementarse el uso de tecnologías en cada proceso de forma fragmentada; por el contrario, la integración de los procesos a través de tecnologías de información, permite el intercambio de datos (casi) en tiempo real y, al ser almacenados en la nube, aumenta la disponibilidad y precisión de la información a la hora de tomar decisiones y reaccionar a los cambios del entorno (Rübmann et al., 2015). Investigaciones como las de (Attaran, 2020) describen beneficios de la integración de tecnologías digitales existentes y emergentes en la SC y la operación logística, tales como: una mayor transparencia y flexibilidad, reducción del riesgo, el tiempo de respuesta y los costos de operación. No obstante, el estudio también confirmó que existen barreras para la digitalización exitosa en el campo logístico, pues estas tecnologías crean disrupciones y exigen que las empresas reconsideren la forma en que diseñan su SC, se requiere de disciplina, planificación y liderazgo de arriba hacia abajo. Visto desde un enfoque técnico también existe un gran reto para la integración de estas tecnologías, por ejemplo (Rejeb et al., 2019) resaltan los beneficios que se obtienen de la combinación de IoT, con la tecnología Blockchain para mejorar la transparencia de la cadena de valor y aumentar la confianza B2B. Sin embargo, asegura que estas tecnologías pueden generar potencialmente nuevos problemas, pues, si bien el Blockchain proporciona el beneficio de la inmutabilidad de los datos, esto también puede ser visto como una característica negativa

que limita la entrada e innovación. La gestión de cantidades crecientes de datos del IoT requiere una alta escalabilidad, esto sumado a estándares y protocolos de transmisión poco confiables e ineficientes dificultan la efectividad de estas soluciones tecnológicas, dejando un amplio campo para la investigación sobre el comportamiento de estos sistemas diferentes escenarios.

La sostenibilidad en la cadena de suministro

Por lo que respecta a sostenibilidad en la SC, más allá del desarrollo económico y tecnológico logrado hasta la actualidad, existe una gran preocupación para la humanidad, desde todas las perspectivas, relacionada con los estándares éticos, la degradación del medio ambiente, el cambio climático y el agotamiento de los recursos naturales, en los cuales las organizaciones tienen una gran responsabilidad (Vázquez, 2004), (Montoya, 2010), (Hult, 2011). Este panorama promueve un cambio de paradigma y una transformación en la SCM tradicional a una gestión sostenible (SSCM) (Roy et al., 2020), enfocada a la creación de organizaciones resilientes capaces de afrontar la adversidad, mediante sistemas económicos, ambientales y sociales integrados Payman & Searcy, (2013).

Autores como Lai & Wong, 2012, Matos & Hall, 2007, y (Mota et al., 2015) señalan que el enfoque del diseño de cadenas de suministro debe darse bajo criterios económicos, ambientales y sociales, tales como la creación de empleo, el bienestar social, el rendimiento energético o consumo de recursos, para dar respuesta a los requerimientos de los mercados.

En la actualidad, la SCM incluye asumir la responsabilidad frente a los impactos generados en el medio ambiente, la sociedad y la economía, producto de actividades y decisiones involucradas en el desarrollo de su sistema productivo. Conceptos como la responsabilidad social de las empresas (RSE) permiten que gobiernos, organismos de control y la sociedad misma vigilen y exijan a las organizaciones implementar estrategias éticas y responsables con sus diferentes grupos de interés, incluso puede verse como un factor diferenciador en la decisión de compra de sus clientes (López Salazar et al., 2017), (Feldman & Reficco, 2015).

En particular, las mejoras en el aspecto ambiental de la SC, ha generado gran interés en las organizaciones en la última década (Micheli et al., 2020). Si bien, el desarrollo de procesos logísticos impacta significativamente en el crecimiento económico y la competitividad, estos, también generan efectos perjudiciales sobre el medio ambiente; por ejemplo, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por la actividad del transporte de carga, y los residuos derivados de estos procesos (Mariano et al., 2017), (Karaman et al., 2020). Hoy en día, se habla de gestión de cadenas de suministro “verdes” (GSCM), un concepto que implica el despliegue de estrategias ecológicas en busca de equilibrar la actividad económica con la mitigación de problemas de contaminación, cambio climático y degradación de los recursos naturales (Micheli et al., 2020). Para lograrlo, conceptos como la logística verde y la logística inversa se convierten en ejes claves para el logro de procesos sostenibles en la SC. Por un lado, la logística verde brinda protección ambiental y sostenibilidad en la logística directa (Rehman Khan et al., 2018), (Chhabra et al., 2017), (Lai & Wong, 2012), al considerar la medición y minimización de los impactos ambientales como el consumo de los recursos naturales no renovables, emisión de contaminantes, utilización de vías, contaminación sonora y deposición de residuos (Maquera, 2012). Por ejemplo, investigaciones como las de (Tacken et al., 2014), (Rehman Khan et al., 2018) (Wong et al., 2018), resaltan las ventajas de la optimización en el enrutamiento, y la utilización y programación de vehículos, para reducir el consumo de energía, combustible y las emisiones de carbono.

Mientras tanto, la logística inversa es responsable de retornar los materiales al proceso de producción para ser aprovechados o tener un destino final ambientalmente correcto (Hammes et al., 2020). En una descripción como la de Rogers, D.S., Tibben Lemcke, (1998) la logística inversa, considera la recuperación y reciclaje de envases, embalajes, residuos peligrosos, excesos de inventario, devoluciones de clientes, productos obsoletos e inventarios estacionales, con el propósito de recapturar valor o darle una disposición apropiada. Su implementación es compleja y requiere de la sincronización de diferentes actores y factores.

A través del análisis de literatura y aplicación de modelos de evaluación, (Prajapati et al., 2019) identificaron 45 barreras de logística inversa, clasificadas en 6 categorías principales, a saber: barreras operativas, barreras ambientales y reguladoras, barreras económicas, barreras socioculturales, barreras estratégicas y barreras tecnológicas. Las respuestas de los expertos en este estudio indican que superar dichas barreras requiere, principalmente, de “Formular y hacer cumplir las leyes, políticas para devoluciones y componentes al final de la vida útil, [...] la integración del costo de la logística inversa al costo del producto [y] diseñar el producto para la sostenibilidad ambiental” (Prajapati et al., 2019, p. 10).

A medida que los investigadores, entes gubernamentales, empresas y actores interesados han prestado más atención a la logística ecológica y ambientalmente sostenible, la investigación sobre logística verde e inversa aumenta progresivamente (Karaman et al., 2020) y brinda hallazgos útiles para el desarrollo de modelos particulares de acuerdo con las características del país, el sector, y la empresa.

Discusión

En los últimos años han surgido criterios y tecnologías que han alterado la forma de gestionar la SC y la logística a nivel mundial. En la búsqueda por mejorar el desempeño, reducir los costos operativos, aumentar el superávit y la capacidad de respuesta a los cambios y exigencias del mercado, ineludiblemente las empresas dependen de la capacidad para adquirir e implementar tecnología para el desarrollo de los procesos de planificación, ejecución y control del flujo y almacenamiento de bienes y servicios a través de la SC (Yavas & Ozkan-Ozen, 2020), (Santiago, 2006) y (Sinchi-Levi & Kamisky, 2000) (Attaran, 2020). No obstante, esta transformación no resulta ser una tarea trivial.

Es importante resaltar que se requiere en primera instancia de la inclusión de tecnologías para la digitalización y automatización de los procesos logísticos, para así facilitar el éxito de la transición hacia la Industria 4.0 (Tjahjono et al., 2017). En este sentido el desarrollo de un ecosistema digital (contexto socio-económico e

industrial resultante de la adopción masiva de tecnologías digitales de información y comunicación) es un factor determinante para lograr una transformación efectiva hacia la era 4.0 y en el que aún falta mucho camino por recorrer.

Según Telecom Advisory Services, (2017) el grado de transformación digital de América latina y el Caribe, es de 45.47 (en una escala del 0 a 100), generando una brecha significativa con relación a regiones como América del Norte con un 74.4 y Europa Occidental con un 66.42, este índice es medido a partir del análisis de ocho pilares, tales como: infraestructura, conectividad, digitalización de hogares y de la producción, el desarrollo de industrias digitales, capital humano, la competitividad y el marco regulatorio y políticas públicas. La correlación entre ellos, ineludiblemente facilita o limita la transición hacia la SC 4.0, a esto se suman barreras como: la falta integración y coordinación multisectorial entre instituciones públicas y privadas, así como políticas públicas que incentiven la integración de tecnologías, las características propias del sector MyPyme y facilitadores de la SC frente a la baja capacidad de inversión y conocimiento en tecnologías 4.0, preparación y planeación de entornos tecnológicos, en los que se adolece de talento humano cualificado y líderes de transformación e innovación, dejando así, en un nivel embrionario los avances para cadenas de suministro 4.0 en América Latina.

En el contexto Colombiano, “es necesario definir nuevas formas organizativas que incrementen los niveles de competitividad en la integración de las cadenas de suministro y la Logística (innovación) que son otra causa de los altos costos” (Mesa sectorial de logística & SENA, 2014, p. 394). Tan solo el 21% de las empresas colombianas implementan algunas de las tecnologías habilitantes de la cuarta revolución industrial, principalmente las grandes empresas (Basco et al., 2020). Específicamente en el ámbito logístico el 69,3 % de las empresas conoce al menos una herramienta tecnológica, pero sólo el 6.5% presenta un nivel de utilización (Departamento Nacional de Planeación, 2018).

También es evidente “una baja apropiación de estrategias logísticas dirigidas a afrontar los retos de las macrotendencias asociadas con el

medio ambiente, el cambio climático, la conectividad global (tecnología de información y las comunicaciones) y nivelación económica, [...], la escasez de recursos, entre otros” (Mesa sectorial de logística & SENA, 2014, p. 394). En materia de logística verde, el 51,0 % de las empresas han implementado al menos una acción, sobresaliendo el desarrollo

de empaques o envases reutilizables, la logística de reversa y el uso de vehículos alternativos, mientras la reducción de emisiones de CO₂, el uso eficiente de la energía y el uso de combustibles alternativos, entre otros, se encuentra en un estado insipiente (Departamento Nacional de Planeación, 2018).

Este panorama, en contraste con referentes internacionales expuestas en este artículo, representa un oportunidad para el desarrollo de procesos de investigación, innovación y desarrollo tecnológico, que contribuyan al cierre de brechas y mejora de la capacidad del país para “generar y usar conocimiento científico y tecnológico” (CONPES & DNP, 2015), sobre la adopción de estas tendencias en la SCM y Logística, orientados a atender las necesidades nacionales frente a los retos de competitividad, en los que este sector logístico es considerado un pilar estratégico (Conpes 3991, 2020).

Conclusiones

El presente estudio muestra cómo las dinámicas y exigencias de los mercados y la sociedad misma, han obligado a las SC a reestructurar sus estrategias de negocio para mantenerse activas y sólidas en estos escenarios. Por una parte, los avances tecnológicos en la era 4.0 han permitido aumentar la competitividad y la eficiencia de las organizaciones a nivel mundial; de manera que se obtiene mayor visibilidad entre los actores y se aumenta el control y precisión en el desarrollo de los procesos logísticos y la toma de decisiones. Mientras tanto, las preocupaciones relacionadas con el uso eficiente de los recursos naturales, el cambio climático, la gestión responsable de los residuos, el impacto social y ambiental generados por las actividades de la SC han dado fuerza al desarrollo de estrategias como la logística verde, la logística inversa en la búsqueda de confi-

guraciones sostenibles para la SC, que generan ventajas comparativas y competitivas.

Sin embargo, en el contexto nacional es importante reconocer y evaluar las capacidades y barreras presentes para la transformación de la SC y la logística hacia una era 4.0 y sostenible, lo cual va más allá de la adquisición de tecnología y modelos de gestión. Estos desarrollos implican desafíos considerables a nivel de apropiación conceptual, adaptaciones particulares en la región, y las características propias de las micro, pequeñas y medianas empresas, en las cuales la revisión de

la literatura muestra bajo nivel de investigaciones y desarrollos tecnológicos para el contexto nacional. Se requiere la inclusión de procesos académicos, como un eje ordenador de la actividad de investigación con el que se permita la integración de esfuerzos de equipos e instituciones comprometidas en el desarrollo del conocimiento en la aplicación de tecnologías de la industria 4.0 en los procesos logísticos y el diseño e implementación de estrategias de sostenibilidad en las cadenas de suministro colombianas. ●

Referencias

- Attaran, M. (2020). Digital technology enablers and their implications for supply chain management. *Supply Chain Forum*, 21(3), 158–172. <https://doi.org/10.1080/16258312.2020.1751568>
- Barbosa-Povoa, A. P., & Pinto, J. M. (2019). Process supply chains: Perspectives from academia and industry. *Computers and Chemical Engineering*, 132. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.106606>
- Barrascout de León, D. (2005). *Guatemala, mayo de 2005*.
- Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245–1252. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.045>
- Bartevyan, L. (2015). DLG expert report Industry 4.0. *Dlg*.
- Basco, A. I., Azevedo, B. De, Harraca, M., & Kersner, S. (2020). América Latina en movimiento. Competencias y habilidades en la Cuarta Revolución Industrial. *Banco Interamericano de Desarrollo*, 170.
- Calatayud, A., & Katz, R. (2019). Cadena de suministro 4.0: Mejores prácticas internacionales y hoja de ruta para América Latina. *Cadena de Suministro 4.0: Mejores Prácticas Internacionales y Hoja de Ruta Para América Latina*. <https://doi.org/10.18235/0001956>
- Caro, M. P., Ali, M. S., Vecchio, M., & Giffreda, R. (2018). Blockchain-based traceability in Agri-Food supply chain management: A practical implementation. 2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture - Tuscany, IOT Tuscany 2018, 1–4. <https://doi.org/10.1109/IOT-TUSCANY.2018.8373021>
- Chhabra, D., Garg, S. K., & Singh, R. K. (2017). Analyzing alternatives for green logistics in an Indian automotive organization: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 167, 962–969. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.158>
- CONPES, C. N. de P. E. y social, & DNP, D. N. de P. (2015). Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2015-2025. *Documento Borrador CONPES*, 1–161.
- Conpes 3991, (2020).
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204(August), 383–394. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>
- Departamento Nacional de Planeación. (2018). Encuesta Nacional Logística 2018. In *DNP* (Vol. 1, Issue 9).
- Diwan, M. A. (2016). Internet of Things in Logistics : & Smart Logistics Entities. *The International Maritime Transport & Logistics Conference*, 5, 13.
- Feldman, P. M., & Reficco, E. (2015). Impact of Corporate Social Responsibility on purchasing behavior and willingness to pay by Bogotá consumers. *Estudios Gerenciales*, 31(137), 373–382. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2015.10.001>
- Frazzon, E. M., Dutra, M. L., & Vianna, W. B. (2015). Big Data Applied To Cyber-Physical Logistic Systems: Conceptual Model and Perspectives. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 12(2), 330. <https://doi.org/10.14488/bjopm.2015.v12.n2.a12>
- Hammes, G., De Souza, E. D., Taboada Rodriguez, C. M., Rojas Millan, R. H., & Mojica Herazo, J. C. (2020). Evaluation of the reverse logistics performance in civil construction. *Journal of Cleaner Production*, 248. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119212>
- Hanifan, G., Sharma, A., & Newberry, C. (2014). *The Digital Supply Network Chain Management*. 1–8.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 2016-March, 3928–3937. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Hult, T. (2011). Market Focuses Sustainability: Market Orientation Plus. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 39, 1–6.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. *Final Report of the Industrie 4.0 Working Group*, April, 1–84.
- Karaman, A. S., Kilic, M., & Uyar, A. (2020). Green logistics performance and sustainability reporting practices of the logistics sector: The moderating effect of corporate governance. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120718. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120718>
- Lai, K. hung, & Wong, C. W. Y. (2012). Green logistics management and performance: Some empirical evidence from Chinese manufacturing exporters. *Omega*, 40(3), 267–282. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2011.07.002>
- López Salazar, A., Ojeda Hidalgo, J. F., & Ríos Manríquez, M. (2017). The corporate social responsibility from the perception of human capital. A case study. *Revista de Contabilidad-Spanish Accounting Review*, 20(1), 36–46. <https://doi.org/10.1016/j.rcsar.2016.01.001>
- Manocha, T., Sahni, M., & Satija, V. (2020). Adoption and awareness of industry 4.0 in logistics industry. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29(3), 6334–6347. <https://www.scopus-com.bdigital.sena.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85083093143&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=logistic+4.0&st2=&sid=7d8cf91531f5b956a1dd34a4715f08ad&sot=b&sdt=b&sl=17&s=KEY%28logistic+4.0%29&relpos=1&citeCnt=0&searchTerm=>
- Maquera, G. (2012). Logística verde e Inversa, Responsabilidad Universitaria Socioambiental Corporativa y Productividad. *Apuntes Universitarios*, 2(1), 31–54. <https://doi.org/10.17162/AU.V0I1.16.G13>

- Mariano, E. B., Gobbo, J. A., Camiato, F. de C., & Rebelatto, D. A. do N. (2017). CO2 emissions and logistics performance: a composite index proposal. *Journal of Cleaner Production*, 163, 166–178. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.084>
- Matos, S., & Hall, J. (2007). Integrating sustainable development in the supply chain: The case of life cycle assessment in oil and gas and agricultural biotechnology. *Journal of Operations Management*, 25(6), 1083–1102. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.013>
- Mesa sectorial de logística, & SENA. (2014). Caracterización del sector de la logística en Colombia 2014. *Igarss 2014*, 1, 1–5. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7>
- Micheli, G. J. L., Cagno, E., Mustillo, G., & Trianni, A. (2020). Green supply chain management drivers, practices and performance: A comprehensive study on the moderators. *Journal of Cleaner Production*, 259, 121024. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121024>
- Montoya, R. A. G. (2010). Logística inversa un proceso de impacto ambiental y productividad. *Inverse Logistics a Process with Environmental and Productivity Impacts. (English)*, 5(2), 1–14. <https://doi.org/10.4304/jcp.7.11.2765-2772>
- Mota, B., Gomes, M. I., Carvalho, A., & Barbosa-Povoa, A. P. (2015). Towards supply chain sustainability: Economic, environmental and social design and planning. *Journal of Cleaner Production*, 105, 14–27. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.052>
- Nakasumi, M. (2017). Information Sharing for Supply Chain Management based on Block Chain Technology Mitsuaki. *2017 IEEE 19th Conference on Business Informatics Information*, 19, 140–149. <https://doi.org/10.1109/CBI.2017.56>
- Napoleone, A., Macchi, M., & Pozzetti, A. (2020). A review on the characteristics of cyber-physical systems for the future smart factories. *Journal of Manufacturing Systems*, 54(December 2019), 305–335. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.01.007>
- Naya, S. (2018). Nuevo paradigma de Big Data en la era de la industria 4.0. *Revista TOG*, 15(May), 4–9. <http://www.revistatog.com/num27/pdfs/editorial2.pdf>
- Olessków-Szłapka, J., Wojciechowski, H., Domański, R., & Pawłowski, G. (2019). Logistics 4.0 maturity levels assessed based on GDM (grey decision model) and artificial intelligence in logistics 4.0 -trends and future perspective. *Procedia Manufacturing*, 39(2019), 1734–1742. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.266>
- Ozben, B., Toprak, A., Koc, M., Sumerkan, M., Tanrikulu, A. M., Papila-Topal, N., Kefeli, U. S., Cincin, A. A., Baykan, O., & Fak, A. S. (2013). Cyber physical systems in logistics. *EffizienzCluster LogistikRuhr*, 112(3). <https://doi.org/10.1159/000214213>
- Payman, A., & Searcy, C. (2013). A comparative literature analysis of definitions for green and sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 52, 329–341. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.018>
- Pérez Lara, M., Saucedo Martínez, J., Salais Fierro, T., & Marmolejo Saucedo, J. (2016). Caracterización de modelo de negocio en el marco de. *Congreso Internacional de Logística y Cadena de Suministro (CiLOG2016)*, October.
- Prajapati, H., Kant, R., & Shankar, R. (2019). Prioritizing the solutions of reverse logistics implementation to mitigate its barriers: A hybrid modified SWARA and WASPAS approach. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118219>
- Rehman Khan, S. A., Zhang, Y., Anees, M., Golpira, H., Lahmar, A., & Qianli, D. (2018). Green supply chain management, economic growth and environment: A GMM based evidence. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 185). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.226>
- Reiner, A. (2014). Industrie 4.0 - Advanced Engineering of Smart Products and Smart Production. *International Seminar on High Technology*, October, 1–14. <https://doi.org/10.13140/2.1.1039.4406>
- Rejeb, A., Keogh, J. G., & Treiblmaier, H. (2019). Leveraging the Internet of Things and blockchain technology in Supply Chain Management. *Future Internet*, 11(7), 1–22. <https://doi.org/10.3390/fi11070161>
- Rogers, D.S., Tibben Lemke, R. . (1998). Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices. In *Reverse Logistics Executive Council, Tesis Doctoral. Reno Center for Logistics Management*. University of Nevada.
- Roy, V., Schoenherr, T., & Charan, P. (2020). Toward an organizational understanding of the transformation needed for sustainable supply chain management: The concepts of force-field and differential efforts. *Journal of Purchasing and Supply Management*, June 2018, 100612. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2020.100612>
- Rübmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: World Economic Forum. *The Boston Consulting Group*. 1–20. https://www.bcgperspectives.com/Images/Industry_40_Future_of_Productivity_April_2015_tcm80-185183.pdf
- Sancho, J.S. (2017). Aplicación de Tecnologías RFID para la mejora de procesos logísticos. *Uib*, 1(1), 1–38. <https://doi.org/10.3390/rs71115782>
- Santiago, A. (2006). *La Gestión de Cadenas de Suministros : Un enfoque de integración global de procesos*.
- Savic, N., Pitic, G., & Trbovich, A. (2016). Smart, connected products as a new competitive advantage: Challenges for Serbia. *Ekonomika Preduzeća*, 64(1–2), 143–155. <https://doi.org/10.5937/ekopre1602143s>
- Sinchi-Levi, D., & Kamisky, P. (2000). *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies*. (McGraw-Hill (ed.); International).
- Strandhagen, J. O., Vallandingham, L. R., Fragapane, G., Strandhagen, J. W., Stangeland, A. B. H., & Sharma, N. (2017). Logistics 4.0 and emerging sustainable business models. *Advances in Manufacturing*, 5(4), 359–369. <https://doi.org/10.1007/s40436-017-0198-1>
- Sund, T., Lööf, C., Nadjm-Tehrani, S., & Asplund, M. (2020). Block-chain-based event processing in supply chains—A case study at IKEA. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 65(April 2019), 101971. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.101971>
- Tacke, J., Rodrigues, V. S., & Mason, R. (2014). Examining CO2e reduction within the German logistics sector. In *International Journal of Logistics Management* (Vol. 25, Issue 1). <https://doi.org/10.1108/IJLM-09-2011-0073>
- Telecom Advisory Services, L. (2017). *HACIA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: EL OBSERVATORIO CAF DEL ECOSISTEMA DIGITAL*. scioteca.caf.com
- Tjahjono, B., Espluques, C., Ares, E., & Pelaez, G. (2017). What does Industry 4.0 mean to Supply Chain? *Procedia Manufacturing*, 13, 1175–1182. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.191>
- Tumpa, T. J., Tumpa, T. J., Ali, S. M., Rahman, M. H., Paul, S. K., Chowdhury, P., & Rehman Khan, S. A. (2019). Barriers to green supply chain management: An emerging economy context. *Journal of Cleaner Production*, 236. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117617>
- Ali, S. M., Rahman, M. H., Paul, S. K., Chowdhury, P., & Rehman Khan, S. A. (2019). Barriers to green supply chain management: An emerging economy context. *Journal of Cleaner Production*, 236. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117617>
- Vázquez, J. F. (2004). *Logística inversa*. 121–132. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117617>
- Vilana, J. R. (2007). La Gestión de la Cadena de Suministro. *Fire Rescue Magazine*, 25(9), 68–73.
- Villafañe, P. (2014). *Análisis de la Cadena de Suministro y su relación con la Logística : caso del Centro Michelin Valladolid*.
- Wong, W. P., Soh, K. L., Sinnandavar, C. M., & Mushtaq, N. (2018). Could the service consumption-production interface lift national logistics performance? *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 222–239. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.10.002>
- Yavas, V., & Ozkan-Ozen, Y. D. (2020). Logistics centers in the new industrial era: A proposed framework for logistics center 4.0. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 135(January), 101864. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101864>