

Revisión de la literatura sobre la simulación discreta en la cadena de suministro durante los últimos 20 años.

Review of the literature on simulation in the supply chain during the last 20 years.

Carol Andrade Ospina 1¹
carol.andrade00@usc.edu.co

Diana María Gómez Wittinghan 2¹
diana.gomez25@usc.edu.co

Carlos Andrés Solarte Coral 1²
Carlos.solarte01@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de [Ingeniería Industrial] (1)
Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de [Ingeniería Comercial] (2)

Resumen

El objetivo de este artículo es realizar una revisión de literatura para aquellos que están interesados en la simulación como instrumento para el mejoramiento y gestión en la cadena de suministro, abarcando los eslabones operativos y estratégicos, además para lograr contar con un conocimiento más amplio de los procesos de simulación realizados en la industria. Se analizaron 40 artículos publicados en los últimos 20 años, de los cuales 23 artículos fueron seleccionados como referentes en este trabajo puesto que exponen y manifiestan la aplicación de software de simulación, como una herramienta de gestión para la cadena de suministros y las diferentes adaptaciones en distintas disciplinas. Así mismo, esta temática viene creciendo para las empresas, ingenieros y demás en la actualidad. Dentro de algunos hallazgos revisando los casos de estudios se logra concluir que la simulación de procesos es una tendencia creciente que se destaca por sus modelos de eventos dinámicos discretos y su interés en diversos campos como la planificación de inventario, distribución, planificación aditiva y otras aplicaciones extendidas de la cadena de suministro. Resaltamos que la simulación en los procesos es una técnica activamente aplicada desde mucho antes del 2004, y esta ha demostrado tener una muy alta tasa de efectividad en las cadenas de suministros.

Palabras Clave: Simulación digital, Cadena de suministro, optimización de CS, planificación, procesos de CS, simulación discreta.

Abstract

The objective of this article is to carry out a literature review for those who are interested in simulation as an instrument for improvement and management in the supply chain, covering operational and strategic Slavs, in addition to achieving a broader knowledge of the simulation processes carried out in the industry. 40 articles published in the last 20 years were analyzed, of which 23 articles were selected as references in this work since they expose and manifest the application of simulation software, as a management tool for the supply chain and the different adaptations in different disciplines. Likewise, this theme has been growing for companies, engineers and others today. Among some findings, reviewing the case studies, it is possible to conclude that process simulation is a growing trend that stands out for its discrete dynamic event models and its interest in various fields such as inventory planning, distribution, additive planning and other applications. Extended supply chain. We emphasize that simulation in processes is an actively applied technique since long before 2004, and this has proven to have a very high rate of effectiveness in supply chains.

Keywords: Digital simulation, Supply chain, CS optimization, planning, CS processes, Discrete simulation.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la industria se ha dado cuenta de la importancia de aumentar e incentivar metodologías y herramientas para la gestión, diseño y optimización de sus procesos de negocios con bases a los auges tecnológicos presentes en este tiempo con el fin generar ventajas competitivas frente a otras compañías.

Por lo tanto, las empresas requieren siempre estar en continuo mejoramiento para intensificar la escala de solución ante las modificaciones y diversificación que prelude la demanda (Aponte, González y González, 2013). Así mismo es imprescindible que los varios agentes involucrados en suplir dicha demanda conozcan a tiempo real cuáles son las tendencias y prioridades en las que se deben enfocar para garantizar su continuidad en la actualidad (Aponte *et al.*, 2013).

Las empresas necesitan procedimientos y sistemas factibles que estos puedan interactuar con su entorno tanto en el interior y exterior y aun cuando se presenten eventos adversos en su ambiente, es decir estructuras resilientes. Igualmente, estas reconocen y evalúan la complejidad de la cadena de suministro y su comportamiento. Aponte *et al.* (2013), afirman: la cadena de suministro (CS) abarca “eslabones interrelacionados que realizan actividades a través de las cuales fluye el producto, la información y otros insumos necesarios. Dichas actividades están involucradas desde el momento de proveer la materia prima, hasta la entrega al consumidor final del producto terminado” (p.76).

Así que la oportuna administración de la cadena de suministro es fundamental en la ejecución general de las actividades del sistema en la CS (Pinho, Coelho y Boaventura-Cunha,2016).; puesto que esta unifica elementos que permiten contar con el ordenamiento necesario para dirigir apropiadamente el crecimiento de un producto o servicio y que este satisfaga con el objetivo principal, que es complacer de la manera más adecuada las necesidades del cliente final (García,2021).

De esta forma la simulación en la cadena de valor o suministro ha estado tomando protagonismo como método y herramientas para la gestión de la misma; la simulación logra visualizar los estados de los eslabones desde cualquier perspectiva que se desee analizar. Pinho, Coelho y Boaventura-Cunha (2016), afirman: las técnicas de gestión eficientes en la cadena de suministro se basan en un software de simulación de soporte de decisiones que debe ser capaz de generar resultados rápidos y efectivos a partir del conjunto de posibilidades y este permite realizar cambios en tiempo real (p.90).

De manera que dentro de los estudios que anteceden al presente artículo, se encontró un estudio desarrollado por Dallasega y otros, publicado en el 2017, en el cual muestra que mediante una simulación se valida los efectos en las sucesiones de la cadena de suministro a través de herramientas TIC en tiempo real; la simulación mostró una reducción drástica del nivel de inventario en unas de las fases de la CS (Dallasega, Rojas, Raucha y Matt, 2017). Además el resultado de la simulación revela el potencial de la información de control en tiempo real en las cadenas de suministro, de manera que la simulación favorece la misión de una CS, puesto que además permite cimentar un patrón en un sistema complejo (fases de la cadena de suministros a estudiar) que incluye variantes aleatorias, su mayor prelación radica en las diversas prácticas que se le puede dar, esta principalmente proporciona el examinar cómo se ve perjudicado todo el sistema ante pequeños y grandes alteraciones sin tener que instaurarlos realmente (Villanueva,Ramos y Jiménez,2011).

Por otro lado, Rinaldía, Caterino, Manco, Feraa y Macchiaroli (2021), exponen la implementación de un modelo de simulación para reproducir el comportamiento de los efectos de la Fabricación Aditiva (FA) en el desempeño de la cadena de suministro y realizan la comparación de su eficiencia en diferentes escenarios considerando las diferentes estructuras de la CS. Como resultado de la simulación se evidencian algunos hallazgos sólidos relacionados con la adopción de la FA, la cual permite diseñar una CS más corta, ofreciendo un gran soporte para el desempeño de esta y proporcionando grandes ahorros en el tiempo de entrega. Además, la red descentralizada de la FA ofrece la mejor solución en términos de stock, costes y flexibilidad de la cadena de suministro.

Finalmente se puede señalar que las simulaciones en la cadena de suministro son herramientas trascendentales para predecir cambios de intervenciones directa o indirecta que surgen a lo largo de todos los eslabones de la CS; por esto es primordial direccionarla como un estructura globalizada, ya no es suficiente examinar, analizar y plantear mejoras en cada enlace de la CS por aislado, sino que lo genial es mirar en cada instante la colisión que tendrán determinadas formulaciones de mejora

a lo largo de la cadena, afiliando el tráfico de comunicación y componentes entre de todos sus procesos o fases.

Por lo tanto, lo antes mencionado se propuso el objetivo realizar un estudio bibliográfico de simulaciones discretas enfocadas en la CS, el presente trabajo, abarca marcos teóricos de la simulación y la CS, tiene como objetivo de realizar un estudio bibliográfico de investigaciones realizadas durante los últimos 20 años de las simulaciones en la CS, también aborda los casos de estudio más relevantes que encontramos, la metodología del trabajo, los softwares de simulación usadas para cada proceso y finalmente los resultados positivos de la simulación.

1.1. Importancia de la simulación en los procesos de la cadena de suministro.

La tecnología es hoy en día una herramienta esencial y de vanguardia en donde los procesos virtualizados día a día toman mayor fuerza como es el caso de la industria 4.0, dentro de esta toma vida, la simulación, la cual la podemos entender como el avance de un molde lógico y matemático de un sistema, en el cual se adquiere una semejanza o espejo de la actuación de un curso o red de la vida real a través del tiempo y es realizado a mano o en una computadora Marmolejo, I. S. (2019) siendo en esta última la ruta más eficiente.

Como indica Averil (2014), en su libro *Simulation Modeling and Analysis*, “la simulación es un método ampliamente utilizado y cada vez más popular como método para estudiar sistemas complejos”, indicando como una ventaja la utilización de la simulación en análisis de la vida real con elementos estocásticos que no pueden ser analizados con un modelo matemático, al igual que indica que en la simulación se puede estimar el desempeño de un sistema exigente en el cual se pueden realizar varias réplicas que puedan dar un comparativo que permita determinar cuál se ajusta a el requerimiento, también se puede tener un margen de tiempo y el control de los factores que pueden afectar el sistema basados en la aleatoriedad esto también lo hablan en el libro *1er paso para la simulación con Flesxim* de Marmolejo, I. S. (2019).

La simulación se viene convirtiendo en una herramienta de análisis que puede ser tenida en cuenta al momento de la toma de decisiones puesto que permite el ahorro de tiempo y rapidez en resultados para los análisis según se requieran, la simulación permite bajar costos con respecto a la práctica en la vida real. Pero lo anterior no quiere decir que la simulación esté exenta de falencias, es decir que presenta algunas desventajas que pueden hacer que los modelos de simulación no sean al cien por ciento efectivos en optimización, ya que ella; muestra escenarios a partir de un planteamiento o una suposición. Otra desventaja es que, a pesar de que la simulación es hoy día un método ampliamente utilizado aún existen brechas de aceptación por algunas partes, en donde se vuelve un poco tedioso en el proceso de venta. Además, en la toma de datos en la vida real pueden quedar variables del factor real por fuera del modelo que pueden cambiar por completo el resultado, es ahí donde se destaca la importancia de hacer un correcto análisis y toma de datos para generar el modelo de simulación.

Dentro de la cadena de suministro se pueden aplicar modelos de simulación que refleja el ahorro ya que minimiza los costos en el capital y tiempo requerido, “de esta forma, pueden ser probados nuevos diseños de equipos o de distribución física de instalaciones o de sistemas de transporte, entre otros, sin la necesidad de utilizar recursos para su compra”. Marmolejo, I. S. (2019) y pueden hacer que la toma de decisiones en la vida real sea más fácil, se corra el menor riesgo posible y permite descubrir e implementar nuevos posibles estándares que lleven a la cadena de suministro a ser más eficiente, es decir una mejora continua.

2. METODOLOGÍA

Este estudio utilizó las siguientes bases de datos proporcionadas por la Universidad Santiago de Cali: Science Direct, Taylor y Francis, Springer y Web of Science. Los términos de búsqueda empleados en estas bases de datos, se relacionan con el campo de la simulación y son los siguientes:

- ✓ Simulation in 3D processes in the supply chain
- ✓ Management tools based on simulation in supply chains
- ✓ (simulación OR model OR sistema OR system) AND (cadena OR ruta) AND (suministro OR transport OR distribución)
- ✓ (simulacion OR model OR simulations) AND (cadena OR chain) AND (suministro OR supply)

- ✓ (herramienta OR tools) AND (simulacion OR simulation OR model) AND (cadena OR chain OR systems) AND (suministro OR supply)

Las búsquedas en las bases de datos se realizaron del 5 al 20 de julio del 2021. Se aplicaron los siguientes criterios de exclusión: (a) estudios reeditados; (b) artículos que no mencionen las palabras clave seleccionadas en el título, resumen o palabras clave.

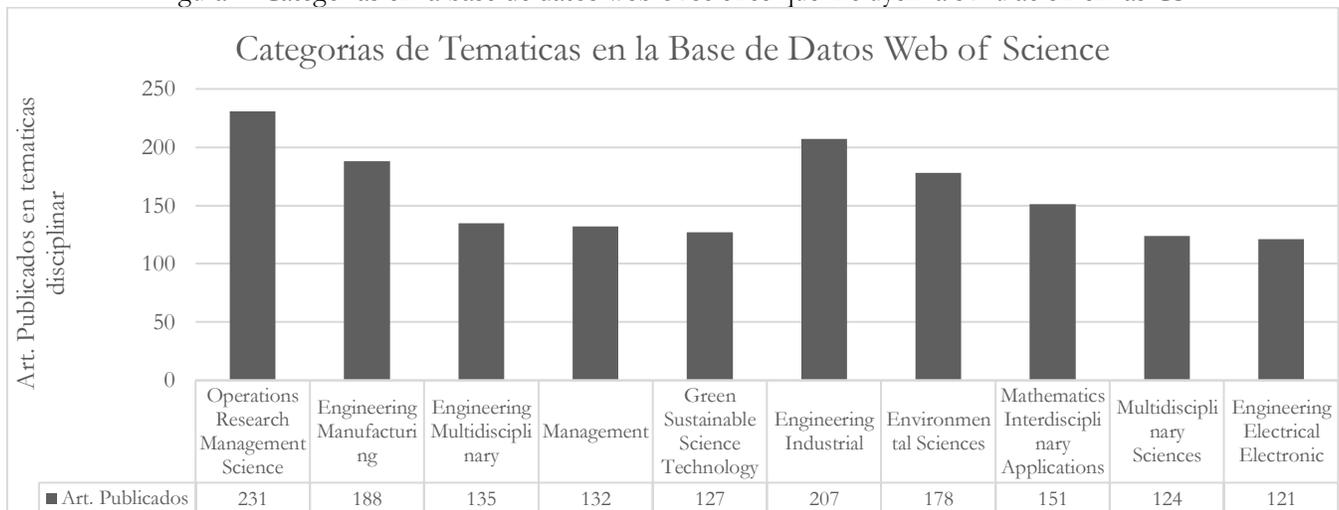
3. RESULTADOS

3.1 Casos de estudios de simulaciones en los procesos de la cadena de suministro

La generalidad de los proyectos de simulación para CS descubiertos son modelos de eventos discretos. Las técnicas más simuladas son los vinculados con la Distribución, Planificaciones aditivas (producción) y la Planificación de Inventario, además también se tienen en cuenta simulaciones de la CS para procesos educativos y validaciones en cambios e incorporaciones de herramientas TIC en la Cadenas de suministro; esta última está en su auge por toda la revolución de industrias 4.0 y 5.0 a nivel global.

Las simulaciones en las cadenas de suministro han tenido un gran impacto en la industria mucho antes del 2004, hasta la actualidad. Podemos visualizar que incluso las simulaciones en CS se están abarcando en varias disciplinas de las ciencias básicas e incluso en las varias temáticas de la ingeniería. Acorde con lo anterior, exponemos en la figura 1, 1594 artículos encontrados en la base de datos web of science, excluyendo las revisiones bibliográficas y solo teniendo en cuenta los artículos de investigación que están incluyendo esta temática expuesta.

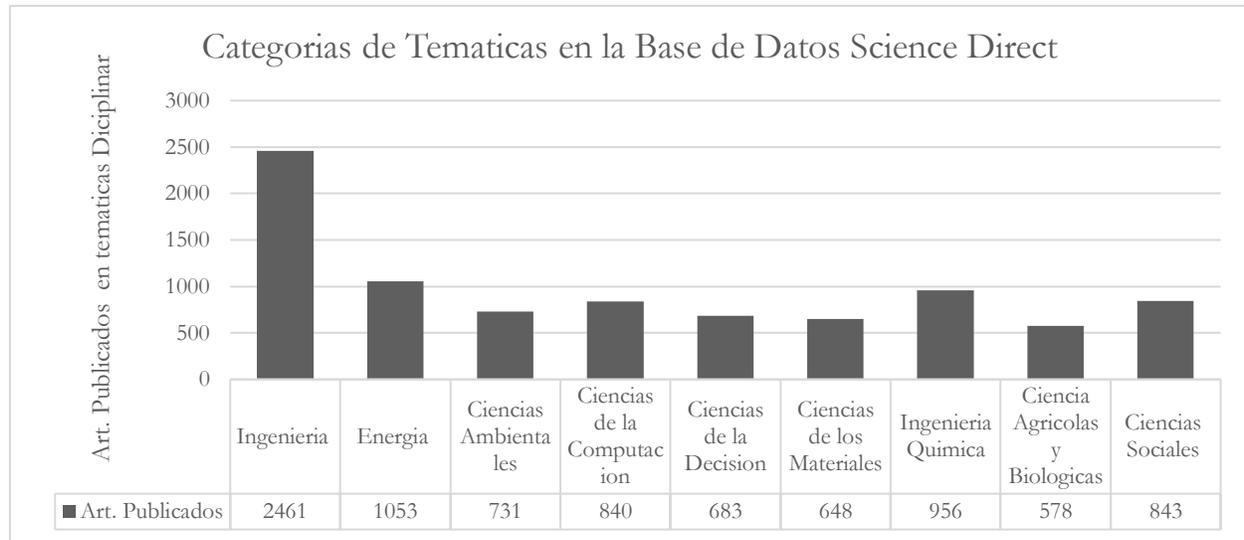
Figura 1. Categorías en la base de datos web of science que incluyen la simulación en las CS.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos tomados desde la base de datos Web of Science, en la opción análisis de los resultados 2021.

Por otra parte, en la base de datos Science Direct que encontramos la mayoría de los artículos expuestos en el presente, también se puede evidenciar las diferentes áreas temáticas y el creciente número de publicaciones de artículos investigativos que están alineados a la simulación de los procesos de las cadenas de suministro en varios enfoques. Se muestra a continuación en la figura 2 relación de los números de artículos publicados en la investigación excluyendo a las revisiones bibliográficas y sus áreas temáticas de enfoques, así mismo en la figura 3 la relación de artículos publicados en cada año desde el 2004 hasta la actualidad, excluyendo a las revisiones bibliográficas.

Figura 2. Categorías en la base de datos Science Direct incluyen la simulación en las CS.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos tomados desde la base de datos Science Direct.

Figura 3. La relación de artículos publicados en cada año desde el 2004 hasta la actualidad, excluyendo a las revisiones bibliográficas.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos tomados desde la base de datos Science Direct.

Por otra parte, se muestra a continuación en la tabla 1. Información de los artículos más relevantes, los cuales muestran como la simulación es una herramienta para la gestión en la CS usada en diferentes países.

Tabla 1: Artículos Relevantes, simulaciones para la Gestión de CS

| Año | Autores | Titulo | País | Revista |
|------|--|---|---|--|
| 2004 | Jen S. Shang, Shanling Li & Pandu Tadikamalla | <p>Operational design of a supply chain system using the taguchi method, response surface methodology, simulation, and optimization.</p> <p>Diseño operativo de un sistema de cadena de suministro utilizando el método taguchi, metodología de superficie de respuesta, simulación y optimización.</p> | Pittsburgh, EEUU. | International Journal of Production Research |
| 2008 | Zhaoqiong Qin | <p>Towards integration: a revenue-sharing contract in a supply chain.</p> <p>Hacia la integración: un contrato de reparto de ingresos en una cadena de suministro.</p> | Daytona Beach, USA | IMA Journal of Management Mathematics , Volumen 19, Número 1 |
| 2009 | Jack G.A.J. van der Vorst , Seth-Oscar Tromp & Durk- Jouke van der Zee | <p>Simulation modelling for food supply chain redesign; integrated decision making on product quality, sustainability and logistics.</p> <p>Modelado de simulación para el rediseño de la cadena de suministro de alimentos; toma de decisiones integrada sobre la calidad del producto, la sostenibilidad y la logística.</p> | Wageningen, Países Bajos Groningen, Países Bajos | International Journal of Production Research |
| 2010 | Eleonora Bottani & Roberto Montanari | <p>Supply chain design and cost analysis through simulation.</p> <p>Diseño de la cadena de suministro y análisis de costos mediante simulación.</p> | Parma, Italia | International Journal of Production Research |
| 2012 | Villanueva, A.; Ramos, P. ; Jiménez, M. | <p>Simulation: Tool to manage supply chains.</p> <p>Simulación: Herramienta para gestionar cadenas de suministros.</p> | Estado Carabobo. Venezuela. | Ingeniería y Sociedad – UC. Vol 7, No 1 57 p. 50-58. 2012 |
| 2012 | Elena Carvalho, Ana P. Barroso, Virginia H. Machado, Susana Azevedo, V. Cruz- Axe | <p>Supply chain redesign for resilience using simulation.</p> <p>Rediseño de la cadena de suministro para la resiliencia mediante simulación.</p> | Caparica, Portugal Covilhã, Portugal | Elsevier Ltd. |

| | | | | |
|------|--|--|---|--|
| 2013 | Magali Bosch-Mauchand, Farouk Belkadi, Matthieu Bricogne y Benoît Eynard | <p>Knowledge-based assessment of manufacturing process performance: integration of product lifecycle management and value-chain simulation approaches.</p> <p>Evaluación basada en el conocimiento del desempeño del proceso de fabricación: integración de la gestión del ciclo de vida del producto y enfoques de simulación de la cadena de valor.</p> | Compiègne, Francia | International Journal of Computer Integrated Manufacturing Vol. 26, No. 5, |
| 2014 | Sara A. Hassan, HishamM. Abdelsala. | <p>An exploratory simulation model for contraception methods' supply chain in Egypt.</p> <p>Un modelo de simulación exploratorio para el suministro de métodos anticonceptivos cadena en Egipto.</p> | Giza, Egipto | Elsevier Ltd. |
| 2014 | Roberto Cigolini, Margherita Pero, Tommaso Rossi & Andrea Sianesi | <p>Linking supply chain configuration to supply chain performance: a discrete event simulation model.</p> <p>Vinculación de la configuración de la cadena de suministro con el desempeño de la cadena de suministro: un modelo de simulación de eventos discretos.</p> | Milano, Italia | Elsevier Ltd. |
| 2014 | Usha Ramanathan | <p>Performance of supply chain collaboration: a simulation study.</p> <p>Rendimiento de la colaboración en la cadena de suministro: un estudio de simulación.</p> | Reino Unido (United Kingdom) | Expert systems with applications |
| 2016 | Tatiana M. Pinho , João Paulo Coelho , & José Boaventura-Cunha | <p>Forest-based supply chain modeling using the simpy simulation framework.</p> <p>Modelado de la cadena de suministro basado en bosques utilizando el marco de simulación Simpy.</p> | Oporto, Portugal | Elsevier Ltd. |
| 2016 | Fu Jia, Xiaofeng Wang , Navonil Mustafee & Liang Hao | <p>Investigating the feasibility of supply chain-centric business models in 3d chocolate printing: a simulation study.</p> <p>Investigación de la viabilidad de modelos de negocio centrados en la cadena de suministro en la impresión de chocolate 3d: un estudio de simulación.</p> | Shanghai, China Fuzhou, China Exeter, Reino Unido | Elsevier Ltd. |

| | | | | |
|------|--|---|--|---------------|
| 2017 | Patrick Dallasegaa, Rafael A. Rojasa, Erwin Raucha, Dominik T. Matta | Simulation based Validation of Supply Chain Effects through ICT enabled Real-Time-Capability in ETO Production Planning Validación basada en simulación de los efectos de la cadena de suministro a través de las TIC habilitó la capacidad en tiempo real en la planificación de la producción ETO | Módena, Italia | Elsevier Ltd. |
| 2019 | Ike Ehie y Luis Miguel DF Ferreira | Conceptual development of supply chain digitalization framework. Desarrollo conceptual del marco de digitalización de la cadena de suministro. | Kansas, Manhattan | Elsevier Ltd. |
| 2019 | Petri Helo, Yuqiuge Hao* | Blockchains in operations and supply chains: a model and reference implementation Blockchains en operaciones y cadenas de suministro: un modelo y una implementación de referencia | Vaasa, Finlandia | Elsevier Ltd. |
| 2019 | António AC Vieira, Luís MS Dias, Maribel Y. Santos, Guilherme AB Pereira & José A. Oliveira | Simulation of an automotive supply chain using big data. Simulación de una cadena de suministro automotriz usando big data. | Minho, Portugal | Elsevier Ltd. |
| 2020 | Behzad Esmacilian, Joe Sarkis, Kemper Lewis, Sara Behdad | Blockchain for the future of sustainable supply chain management in industry 4.0. Blockchain para el futuro de la gestión sostenible de la cadena de suministro en la industria 4.0. | <ul style="list-style-type: none"> • Buffalo, NY, EE. UU. • Springfield, MA, EE. UU. • Gainesville, FL, EE. UU. • Buffalo, NY, EE. UU. | Elsevier Ltd. |
| 2020 | Faezeh Motevalli-Taher, Mohammad Mahdi Paydar *, Saeed Emami | Diseño de red de cadena de suministro sostenible de trigo con demanda prevista por simulación. | Babol, Irán | Elsevier Ltd. |
| 2020 | João AM Santos, Miguel R. Lopes , Joaquim L. Viegas, Susana M. Vieira & João MC Sousa. | Internal supply chain digital twin of a pharmaceutical company. Cadena de suministro interna gemelo digital de una compañía farmacéutica. | Lisboa, Portugal | Elsevier Ltd. |

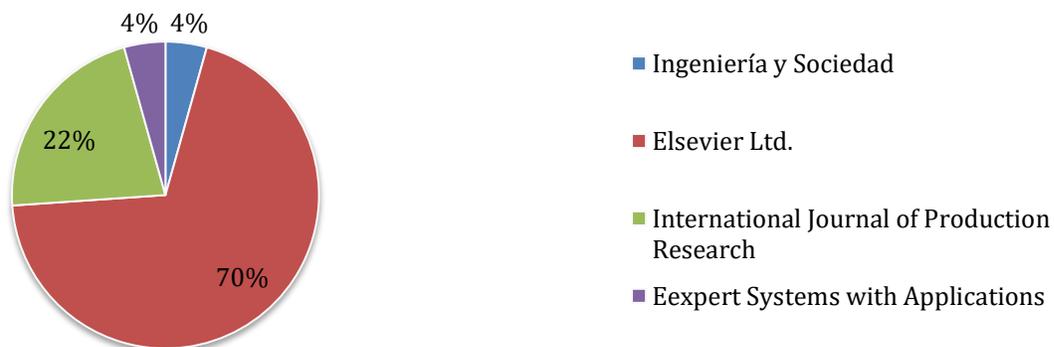
| | | | | |
|------|--|---|---|---------------|
| 2021 | Xue-Feng Shao, Wei Liu, Yi Li, Hassan Rauf Chaudhry, Xiao- Guang Yue | Multistage implementation framework for smart supply chain management under industry 4.0. Marco de implementación de múltiples etapas para la gestión inteligente de la cadena de suministro en la industria 4.0. | Sydney, Australia / Lahore, Pakistán / Nicosia, Chipre | Elsevier Ltd. |
| 2021 | Marta Rinaldi, Mario Caterino, Pasquale Manco, Marcello Fera, & Roberto Macchiaroli | The impact of additive manufacturing on supply chain design: a simulation study. El impacto de la fabricación aditiva en el diseño de la cadena de suministro: un estudio de simulación. | Aversa (Italia) | Elsevier Ltd. |
| 2021 | Ching Lam, Edward Meinert, Aidong Yang & Zhanfeng Cui. | Comparison between centralized and decentralized supply chains of autologous chimeric antigen receptor t-cell therapies: a uk case study based on discrete event simulation. Comparación entre las cadenas de suministro centralizadas y descentralizadas de terapias autólogas de células t con receptor de antígeno quimérico: un estudio de caso del reino unido basado en la simulación de eventos discretos. | Oxford, Reino Unido | Elsevier Ltd. |
| 2021 | Farook Abdullah Sultan, Srikanta Routroy, & Maitri Thakur. | A simulation-based performance investigation of downstream operations in the indian surimi supply chain using environmental value stream mapping. Una investigación de desempeño basada en simulación de las operaciones posteriores en la cadena de suministro de surimi de la india utilizando el mapeo del flujo de valor ambiental. | Trondheim, Noruega Rajasthan, India | Elsevier Ltd. |

Fuente: Elaboración propia.

Acorde con la tabla anterior se manifiesta por medio de la figura 4, las revista con mayor participación en publicaciones acorde a las simulaciones en la CS.

Figura 4. Relación de revista con los artículos relevantes.

Relación de revista con los artículos relevantes.



Fuente: Elaboración Propia

3.2 Software de simulación utilizados en la Cadena de suministros

La simulación es la imitación de los procesos de un sistema real de datos almacenados, a través de un tiempo determinado. Esta abarca el estudio de los datos históricos y su respectivo análisis para lograr pronósticos estadísticos de todo el sistema y así permitir una corrección adecuada de los errores evidenciados.

La instalación de un software avanzado y su implementación en la cadena de suministro no garantizan una solución inmediata, pero sí proporciona datos reales que benefician al momento de la toma de decisiones y garantizan una buena gestión de los procesos de la cadena de suministro. En la tabla 2. Se observa en detalle el nombre de los artículos seleccionados y el software utilizado para cada caso de estudio.

Tabla 2: Relación de Artículos y Software utilizado para el Caso de Estudio

| Año | Título | Software de simulación |
|------|---|---|
| 2004 | Operational design of a supply chain system using the taguchi method, response surface methodology, simulation, and optimization. Diseño operativo de un sistema de cadena de suministro utilizando el método taguchi, metodología de superficie de respuesta, simulación y optimización. | Arena (rockwell software, 2003) |
| 2008 | Towards integration: a revenue-sharing contract in a supply chain. Hacia la integración: un contrato de reparto de ingresos en una cadena de suministro. | Estudio computacional o de simulación no especificado |

| | | |
|------|--|---|
| 2009 | <p>Simulation modelling for food supply chain redesign; integrated decision making on product quality, sustainability and logistics. Modelado de simulación para el rediseño de la cadena de suministro de alimentos; toma de decisiones integrada sobre la calidad del producto, la sostenibilidad y la logística.</p> | simulación, ALADIN.TM. |
| 2010 | <p>Supply chain design and cost analysis through simulation. Diseño de la cadena de suministro y análisis de costos mediante simulación.</p> | Simul8TM Professional, versión 12 (Visual Thinking International Inc.). |
| 2012 | <p>Simulation: Tool to manage supply chains. Simulación: Herramienta para gestionar cadenas de suministros.</p> | programa Arena® |
| 2012 | <p>Supply chain redesign for resilience using simulation. Rediseño de la cadena de suministro para la resiliencia mediante simulación.</p> | Software de simulación Arena 9.0 y Microsoft Excel 2003 |
| 2013 | <p>Knowledge-based assessment of manufacturing process performance: integration of product lifecycle management and value-chain simulation approaches. Evaluación basada en el conocimiento del desempeño del proceso de fabricación: integración de la gestión del ciclo de vida del producto y enfoques de simulación de la cadena de valor.</p> | Software de simulación Arena. Sistemas: PLM, PDM, MPM y servidores ERP. Proceso AHP |
| 2014 | <p>An exploratory simulation model for contraception methods' supply chain in Egypt. Un modelo de simulación exploratorio para el suministro de métodos anticonceptivos cadena en Egipto.</p> | Software SIMIO |
| 2014 | <p>Linking supply chain configuration to supply chain performance: a discrete event simulation model. Vinculación de la configuración de la cadena de suministro con el desempeño de la cadena de suministro: un modelo de simulación de eventos discretos.</p> | software Arena |
| 2014 | <p>Performance of supply chain collaboration: a simulation study. Rendimiento de la colaboración en la cadena de suministro: un estudio de simulación.</p> | Modelos matemáticos o de simulación / CPMR |

| | | |
|------|---|--|
| 2016 | <p>Forest-based supply chain modeling using the simpy simulation framework. Modelado de la cadena de suministro basado en bosques utilizando el marco de simulación Simpy.</p> | SimPy y Python |
| 2016 | <p>Investigating the feasibility of supply chain-centric business models in 3d chocolate printing: a simulation study. Investigación de la viabilidad de modelos de negocio centrados en la cadena de suministro en la impresión de chocolate 3d: un estudio de simulación.</p> | ExtendSimmodel |
| 2017 | <p>Simulation based Validation of Supply Chain Effects through ICT enabled Real-Time-Capability in ETO Production Planning Validación basada en simulación de los efectos de la cadena de suministro a través de las TIC habilitó la capacidad en tiempo real en la planificación de la producción ETO</p> | Cyber-Physical Systems (CPS) y la Nube |
| 2019 | <p>Conceptual development of supply chain digitalization framework. Desarrollo conceptual del marco de digitalización de la cadena de suministro.</p> | El modelo SCOR |
| 2019 | <p>blockchains in operations and supply chains: a model and reference implementation blockchains en operaciones y cadenas de suministro: un modelo y una implementación de referencia</p> | Blockchain (BLMS) Blockchain based logistics monitoring system |
| 2019 | <p>Simulation of an automotive supply chain using big data. Simulación de una cadena de suministro automotriz usando big data.</p> | Software SIMIO / The Talend software |
| 2020 | <p>Blockchain for the future of sustainable supply chain management in industry 4.0. Blockchain para el futuro de la gestión sostenible de la cadena de suministro en la industria 4.0.</p> | Blockchain (BLMS) Blockchain based logistics monitoring system |
| 2020 | <p>Diseño de red de cadena de suministro sostenible de trigo con demanda prevista por simulación.</p> | software Arena / software Lingo17 |

| | | |
|------|---|---|
| 2020 | Internal supply chain digital twin of a pharmaceutical company. Cadena de suministro interna gemelo digital de una compañía farmacéutica. | simulación Monte Carlo |
| 2021 | Multistage implementation framework for smart supply chain management under industry 4.0. Marco de implementación de múltiples etapas para la gestión inteligente de la cadena de suministro en la industria 4.0. | Tecnologías de Base Y Front- End Elementos de la tecnología base: <ul style="list-style-type: none"> • servicios en la nube. • Internet de las cosas. • big data y análisis. Lenguajes de programación Front End: <ul style="list-style-type: none"> • HTML • CSS • Javascript |
| 2021 | The impact of additive manufacturing on supply chain design: a simulation study. El impacto de la fabricación aditiva en el diseño de la cadena de suministro: un estudio de simulación. | Microsoft Excel™ |
| 2021 | Comparison between centralized and decentralized supply chains of autologous chimeric antigen receptor t-cell therapies: a uk case study based on discrete event simulation. Comparación entre las cadenas de suministro centralizadas y descentralizadas de terapias autólogas de células t con receptor de antígeno quimérico: un estudio de caso del reino unido basado en la simulación de eventos discretos. | ExtendSIM 9 |
| 2021 | A simulation-based performance investigation of downstream operations in the indian surimi supply chain using environmental value stream mapping. Una investigación de desempeño basada en simulación de las operaciones posteriores en la cadena de suministro de surimi de la india utilizando el mapeo del flujo de valor ambiental. | Flexsim |

Fuente. Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 2, evidenciamos que el programa arena es uno de los softwares utilizados por 6 casos estudios para la simulación como herramienta de gestión para CS, ya que este permite modelar eventos discretos para la optimización de procesos complejos y además que observar una secuencia de sucesos bien concretos y metódicos en el tiempo. Esto concede distinguir dinámicamente la actuación de los procesos y organización a lo largo del tiempo.

Cuando se usa Arena, el modelador describe el proceso que experimenta una entidad mientras fluye a través de él o utiliza los elementos del sistema que pretende analizar (Altiok y Melamed, 2010).

Arena acentúa el estudio de sistemas de producción y logística industrial, distribución, nodos de transporte y almacenaje, servicios, tal cual la logística integral y el estudio de toda la CS.

Por otro lado, en eventos discretos en sistemas continuos encontramos otros como: Powersim, Vensim y Ithink. Powersim permite trabajar con modelos más grandes y mejora el rendimiento de las simulaciones. Vensim es una herramienta visual de modelaje que permite simular, analizar y optimizar modelos de dinámica de sistemas. Ithink software está diseñado para facilitar el mapeado, modelado y Simulación de procesos dinámicos.

4. CONCLUSIONES

La simulación de procesos es una técnica activamente aplicada desde hace mucho, aproximadamente antes del 2004. Esta ha demostrado tener una muy alta tasa de efectividad en las cadenas de suministros, mirando así, una ventaja notable para cualquier entidad que llegue a implementarlas. Estas ventajas se presentan en diferentes escalas como la económica, optimización de recursos como el tiempo o activos para la cadena de suministros. Sin embargo, llegar a validar estos procesos en una etapa inicial es algo que puede tomar tiempo y recursos, pues, en condiciones computarizadas controlar máquinas y procesos industriales estarían sustituyendo al operador humano.

Entre los softwares logrados con el avance tecnológico, se han encontrado tendencias y alternativas al momento de encontrar las opciones óptimas para establecer el establecimiento de la CS, según cada necesidad. El Software Arena al final se muestra como uno de los más populares según nuestros artículos, gracias a la capacidad que otorga al momento de realizar optimizar procesos complejos. Sin embargo, se evidencia que existe una amplia gama de posibilidades al momento de poder proceder con un programa, como: Flesxim, Simio, Extend Simmodel, AladinT.M., entre otros. Estos softwares de simulación, permiten modelar sistemas y ayudan a la toma de decisiones.

Arena está diseñado para sus usos dentro de la compañía, asiste tanto el estudio de zonas particulares (manufactura, logística, servicio al cliente, etc.) como sucesiones que implican varias zonas particulares. ARENA emplea una intuitiva importación de las transformaciones modeladas tipo “diagrama de flujo”. El modelado se lleva a cabo prosiguiendo una organización jerárquica.

Queda expuesto que la simulación de procesos es una tendencia creciente que se destaca por sus modelos de eventos dinámicos, discretos y su interés en diversos campos como la planificación de inventario, distribución, planificación aditiva y otras aplicaciones extendidas de la CS en los procesos educativos e implementación de las TIC en las CS. Asimismo, la transformación tecnológica que actualmente somos testigos en el campo académico como en lo laboral, llamada “Industria 4.0”, cada vez está más presente en todos los sectores.

Finalmente, el aprendizaje apoyado en softwares de simulación, es una forma efectiva de transmitir el conocimiento a los estudiantes y hace parte de esa innovación que se busca en la actualidad.

5. REFERENCIAS

Simón Marmolejo, I. and Martín Domínguez, O., 2019. Un primer paso a la simulación con Flesxim. 2nd ed. Barcelona, España: Mítico Studio, pp.2, 20-21

Law, A., 2013. Simulation modeling and analysis. 5th ed. Tucson, Arizona, USA, pp.70-71-72.

Puente Rivera, E., Gámez Pérez, K. M., Soto Aguirre, G., León, I. T. y de E. S. de M. C. (2013). Uso de ambientes virtuales

para la toma de decisiones en problemas de Administración de la Cadena de Suministros. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. <http://hdl.handle.net/11285/621361>

Palisade-lta.com. 2021. Simulación de Monte Carlo - Palisade. [online] Available at: <https://www.palisade-lta.com/risk/simulacion_monte_carlo.asp> [Accessed 30 July 2021].

Villanueva, A., Ramos, P. and Jiménez, M., 2011. SIMULACIÓN: HERRAMIENTA PARA GESTIONAR CADENAS DE SUMINISTROS. Ingeniería y Sociedad, [online] (7), pp.50-58. Available at: <<http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/IngenieriaYSociedad/a7n1/art5.pdf>> [Accessed 30 July 2021].

Aponte, B., González, A., & González, Á. (2013). Actividades de la cadena de suministro de las empresas avícolas del Estado Zulia. Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias, 3(10), 75-90.

Coelho, J. P., Pinho, T. M., & Boaventura-Cunha, J. (2016). Controller system design using the coefficient diagram method. Arabian Journal for Science and Engineering, 41(9), 3663-3681.

García, K. and Flores, M., 2021. CONALOG - Las nuevas tecnologías aplicadas en la cadena de suministro 2020 - 2021. [online] Conalog.org.mx. Available at: <https://conalog.org.mx/articulos_de_interes/las_nuevas_tecnologias_aplicadas_en_la_cadena_de_suministro_2020_-_2021/>

Dallasega, P., Rojas, R. A., Rauch, E., & Matt, D. T. (2017). Simulation based validation of supply chain effects through ICT enabled real-time-capability in ETO production planning. Procedia Manufacturing, 11, 846-853.

Rinaldi, M., Caterino, M., Manco, P., Fera, M., & Macchiaroli, R. (2021). The impact of Additive Manufacturing on Supply Chain design: A simulation study. Procedia Computer Science, 180, 446-455.

Ramanathan, U. (2014). Performance of supply chain collaboration - A simulation study. Expert Systems with Applications, 41(1), 210–220. doi:10.1016/j.eswa.2013.07.022

Martins, S., Amorim, P., Figueira, G., & Almada-Lobo, B. (2017). An optimization-simulation approach to the network redesign problem of pharmaceutical wholesalers. Computers and Industrial Engineering, 106, 315–328. doi:10.1016/j.cie.2017.01.026

Sultan, F. A., Routroy, S., & Thakur, M. (2021). A simulation-based performance investigation of downstream operations in the Indian Surimi Supply Chain using environmental value stream mapping. Journal of Cleaner Production, 286. doi:10.1016/j.jclepro.2020.125389

Qin, Z. (2008). Towards integration: A revenue-sharing contract in a supply chain. IMA Journal of Management Mathematics, 19(1), 3–15. doi:10.1093/imaman/dpm001

Santos, J. A. M., Lopes, M. R., Viegas, J. L., Vieira, S. M., & Sousa, J. M. C. (2020). Internal supply chain digital twin of a pharmaceutical company. In IFAC-PapersOnLine (Vol. 53, pp. 10797–10802). Elsevier B.V. doi:10.1016/j.ifacol.2020.12.2864

Lam, C., Meinert, E., Yang, A., & Cui, Z. (2021). Comparison between centralized and decentralized supply chains of autologous chimeric antigen receptor T-cell therapies: a UK case study based on discrete event simulation. Cytotherapy, 23(5), 433–451. doi:10.1016/j.jcyt.2020.08.007

Van Der Vorst, J. G. A. J., Tromp, S. O., & Van Der Zee, D. J. (2009). Simulation modelling for food supply chain redesign; Integrated decision making on product quality, sustainability and logistics. International Journal of Production Research, 47(23), 6611–6631. doi:10.1080/00207540802356747

- Bottani, E., & Montanari, R. (2010). Supply chain design and cost analysis through simulation. *International Journal of Production Research*, 48(10), 2859–2886. doi:10.1080/00207540902960299
- Hassan, S. A., & Abdelsalam, H. M. (2014). An Exploratory Simulation Model for Contraception Methods' Supply Chain in Egypt. *Procedia Technology*, 16, 1403–1410. doi:10.1016/j.protcy.2014.10.159
- Jia, F., Wang, X., Mustafee, N., & Hao, L. (2016). Investigating the feasibility of supply chain-centric business models in 3D chocolate printing: A simulation study. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, 202–213. doi:10.1016/j.techfore.2015.07.026
- Vieira, A. A. C., Dias, L. M. S., Santos, M. Y., Pereira, G. A. B., & Oliveira, J. A. (2019). Simulation of an automotive supply chain using big data. *Computers and Industrial Engineering*, 137. doi: 10.1016/j.cie.2019.106033
- Bosch-Mauchand, M., Belkadi, F., Bricogne, M., & Eynard, B. (2013). Knowledge-based assessment of manufacturing process performance: Integration of product lifecycle management and value-chain simulation approaches. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 26(5), 453–473. doi: 10.1080/0951192X.2012.731611
- Carvalho, H., Barroso, A. P., MacHado, V. H., Azevedo, S., & Cruz-Machado, V. (2012). Supply chain redesign for resilience using simulation. *Computers and Industrial Engineering*, 62(1), 329–341. doi: 10.1016/j.cie.2011.10.003
- Shao, X. F., Liu, W., Li, Y., Chaudhry, H. R., & Yue, X. G. (2021). Multistage implementation framework for smart supply chain management under industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 162. doi:10.1016/j.techfore.2020.120354
- Helo, P., & Hao, Y. (2019). Blockchains in operations and supply chains: A model and reference implementation. *Computers and Industrial Engineering*, 136, 242–251. doi:10.1016/j.cie.2019.07.023
- Ehie, I., & Ferreira, L. M. D. F. (2019). Conceptual development of supply chain digitalization framework. In *IFAC-PapersOnLine* (Vol. 52, pp. 2338–2342). Elsevier B.V. doi:10.1016/j.ifacol.2019.11.555
- Calderón, J. L., & Lario, F. C. (2007). Simulación de cadenas de suministro: Nuevas aplicaciones y áreas de desarrollo. *Informacion Tecnologica*, 18(1), 137–146. doi:10.4067/s0718-07642007000100018
- Ramanathan, U. (2014). Performance of supply chain collaboration - A simulation study. *Expert Systems with Applications*, 41(1), 210–220. doi:10.1016/j.eswa.2013.07.022
- Esmailian, B., Sarkis, J., Lewis, K., & Behdad, S. (2020). Blockchain for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0. *Resources, Conservation and Recycling*, 163. doi:10.1016/j.resconrec.2020.105064
- Shang, J. S., Li, S., & Tadikamalla, P. (2004). Operational design of a supply chain system using the Taguchi method, response surface methodology, simulation, and optimization. *International Journal of Production Research*, 42(18), 3823–3849. doi:10.1080/00207540410001704050
- Cigolini, R., Pero, M., Rossi, T., & Sianesi, A. (2014). Linking supply chain configuration to supply chain performance: A discrete event simulation model. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 40, 1–11. doi: 10.1016/j.simpat.2013.08.002

