



Análisis de la aplicación del modelo CONWIP en los países latinoamericanos: Una revisión de literatura

*Analysis of the application of the CONWIP model in Latin American
countries: A review of the literature*

Oscar Mauricio Gelves Alarcón¹, Elisa del Carmen Navarro²

Tipo de Artículo: Revisión de Literatura.

Recibido: 17/07/2023. **Aprobado:** 7/12/2023. **Publicado:** 22/12/2023.

Resumen: El modelo Conwip fue diseñado en los años 90 del siglo XX por Spearman, publicándose en el libro *Factory Physics* con el objetivo de la disminución del inventario en proceso o WIP; para ello esta revisión de literatura tiene como objetivo reconocer el desarrollo de este modelo en el contexto latinoamericano, teniendo en cuenta las publicaciones durante los últimos años en diferentes bases de datos como Scopus, ScienceDirect, Scielo y Google Academics; en base a los resultados de la ecuación de búsqueda, se establece el tamizaje por medio de la metodología prisma y se definen las principales estadísticas por país, enfoque de investigación, herramientas complementarias y promedio por año de las publicaciones. Según el tamizaje realizado, se define que Brasil es el país

de la región con mayor número de publicaciones en las cuales el enfoque de investigación, en su mayoría, son estudios de casos. El nivel de publicaciones en la región de Latinoamérica es bajo en comparación a otras regiones del mundo y es posible aplicar el modelo Conwip en diferentes contextos aparte de la manufactura, como, por ejemplo, la construcción.

Palabras clave: Conwip, Latinoamérica, Producción.

Abstract. The Conwip model was designed in the 90s of the 20th century by Spearman, published in the book *FACTORY PHYSICS* with the objective of reducing the inventory in process or WIP, for this purpose this literature review aims to recognize the

1 Autor correspondiente: Oscar Mauricio Gelves Alarcón. Mayor título: Maestría en Ingeniería de Dirección Industrial. Filiación institucional: Universidad Militar Nueva Granada. País: Colombia, Ciudad: Cajicá. Correo electrónico: oscar.gelves@unimilitar.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0557-775X2>.

2 Autor correspondiente: Elisa del Carmen Navarro Romero Mayor. Título: Maestría en Ingeniería Industrial. Filiación institucional: Universidad del Bosque. País: Colombia, Ciudad: Bogotá D.C. Correo electrónico: EDNAVARRO@unbosque.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0557-775X2>.

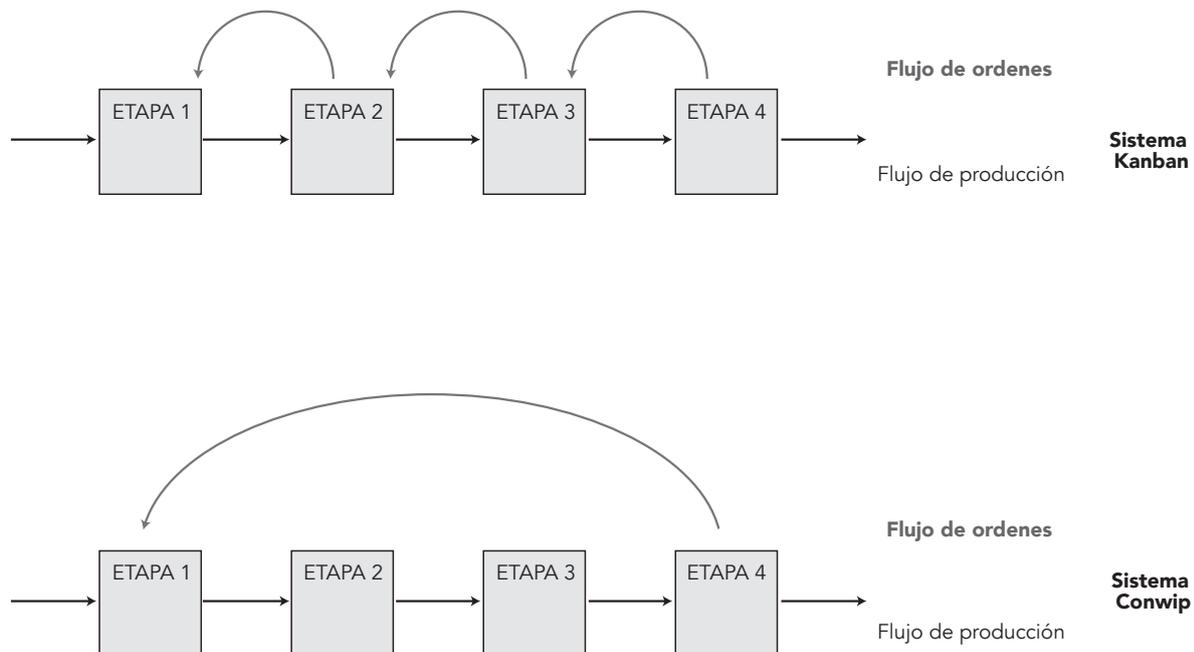
development of this model in the Latin American context, taking into account the publications during the last years in different databases such as Scopus, ScienceDirect, Scielo and Google Academics, based on the results of the search equation, the screening is established by means of the prism methodology and the main statistics by country, research focus, complementary tools and average publications per year. According to the screening carried out, it is defined that Brazil is the country in the region with the highest number of publications in which the research focus is mostly case studies. The level of publications in the Latin American region is low compared to other regions of the world and it is possible to apply the Conwip model in different contexts apart from manufacturing, such as construction.

Keywords: Conwip, Latin America, Production.

I. Introducción

El modelo Conwip o trabajo en proceso constante es un método para gestionar los procesos de producción de una planta, basados en la filosofía de jalar las piezas base de la metodología *Just in time*, el modelo Conwip fue aplicado en los años 90 por Spearman en su obra *Factory physis*, teniendo como objetivo la disminución del inventario, pero con la intención de mantener una tasa de producción eficiente [1]. El modelo de Conwip trabaja con tarjetas o contenedores, al igual que el sistema de producción Kanban, la diferencia de estos dos métodos consiste en que el modelo Conwip se utiliza una tarjeta al iniciar la línea de producción, mientras en Kanban se utilizan en cada una de las estaciones de trabajo; además, según Sipper; por otro lado cabe resaltar que los modelos Conwip utilizan una lista de faltantes para definir la secuencia de partes y en el modelo Conwip se asocian las tarjetas a todas las partes fabricadas por una línea de producción [2], como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Comparación de flujos del modelo Kanban y Modelo Conwip



Nota: Fuente tomada de [2].

Dentro de las revisiones literarias investigadas se observan varios resultados de la aplicación del modelo Conwip, por ejemplo, cabe citar a Jaegler [3] donde se compara el modelo Conwip con los modelos Push and Pull y Polca, en el que se concluye que el modelo Conwip tiene mejores indicadores de gestión con respecto al Kanban y el MRP al estudio realizado por Marek [4] y Gong [5], por otro lado, Jaegler [3] concluye, en base a los estudios de Korungan [6], que la comparación entre los métodos Híbridos-Kanban y Conwip depende de la naturaleza de la demanda, por lo general, el híbrido Kanban se comporta de mejor manera en casos de demanda constante que el sistema Conwip.

Agrawal [7] define al modelo Conwip como un modelo el cual disminuye los niveles de inventario y establece un aumento en la performance de sistemas MRP; a la vez de su aplicación en diferentes ambientes de producción, también Agrawal cita a Zhou [8], el cual, al comparar los resultados obtenidos de las metodologías Conwip y Kanban, define que los modelos Kanban generan tiempos de espera promedio más largos que los sistemas Conwip; también resalta que los sistemas Conwip generan un mayor promedio de rendimiento (*THROUGHPUT*) que los sistemas Kanban. En la revisión de la literatura se observa el éxito de la combinación de las técnicas del sistema Kanban con el sistema Conwip, en la cual se resalta la revisión de literatura realizada por Bonilla [9] donde define que los factores claves para el éxito de la técnica híbrida es la definición de lotes pequeños y un alto nivel de personalización y establece en el estudio realizado una disminución de un 38% en el tiempo de ciclo y el aumento de la rotación del inventario.

En la revisión literaria realizada por Bagni [11] propone evoluciones de técnicas híbridas del modelo Conwip como BK_Conwip (Base stock-Kanban Conwip), la técnica HK Conwip (Hibryd kanban -Conwip) y B-Conwip (The Basestock - constant-work in Process), el cual fue propuesto por Hawari [10] donde define dos parámetros esenciales para el desarrollo de la técnica, los cuales son los siguientes:

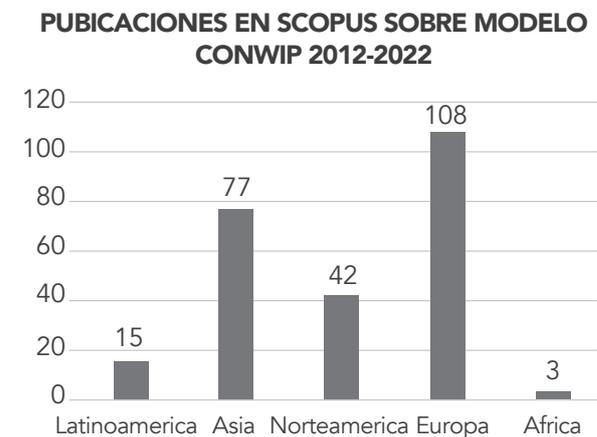
- Niveles de inventario mínimos en cada etapa para cumplir con la demanda.
- Limitar el sistema basado en las tarjetas Conwip.

Según Bagni [11], la principal diferencia entre la técnica BK Conwip y B Conwip es la no utilización de las tarjetas Kanban entre estaciones; también afirma Bagni [11] que, de acuerdo a la variable a medir, uno de los métodos es mejor que el otro; por ejemplo, si aumenta la demanda el B-Conwip es más apropiado, mientras, si el indicador es el inventario en proceso, es mejor utilizar la técnica BK Conwip.

II. Materiales y Métodos

Dentro de la recolección de la información, se realizó una clasificación de los documentos relacionados en Scopus con respecto al tema Conwip durante los años 2012 y 2022, el cual se encuentra en la figura 2.

Figura 2. Publicaciones en Scopus sobre modelo Conwip 2012-2022



Nota: Fuente elaboración propia.

En publicaciones en Scopus Latinoamérica se encuentra rezagada en comparación de los países asiáticos y europeos en documentos que apliquen de manera directa o indirecta el modelo Conwip y

esto demuestra la poca aplicación del modelo en los últimos veinte años en las organizaciones de la región. A continuación, se definen las siguientes preguntas de investigación para el desarrollo de la revisión literaria:

- ¿Cuáles países latinoamericanos tienen mayor cantidad de publicaciones en base de datos relacionados a la aplicación del modelo Conwip?
- ¿Cuáles son los enfoques de investigación que se realizan sobre el modelo Conwip?
- ¿Con qué otras herramientas de la ingeniería industrial se aplicó el modelo Conwip resultado de las publicaciones encontradas?
- ¿Cómo funciona el Conwip en comparación a otros modelos de producción?

Definición de fuentes

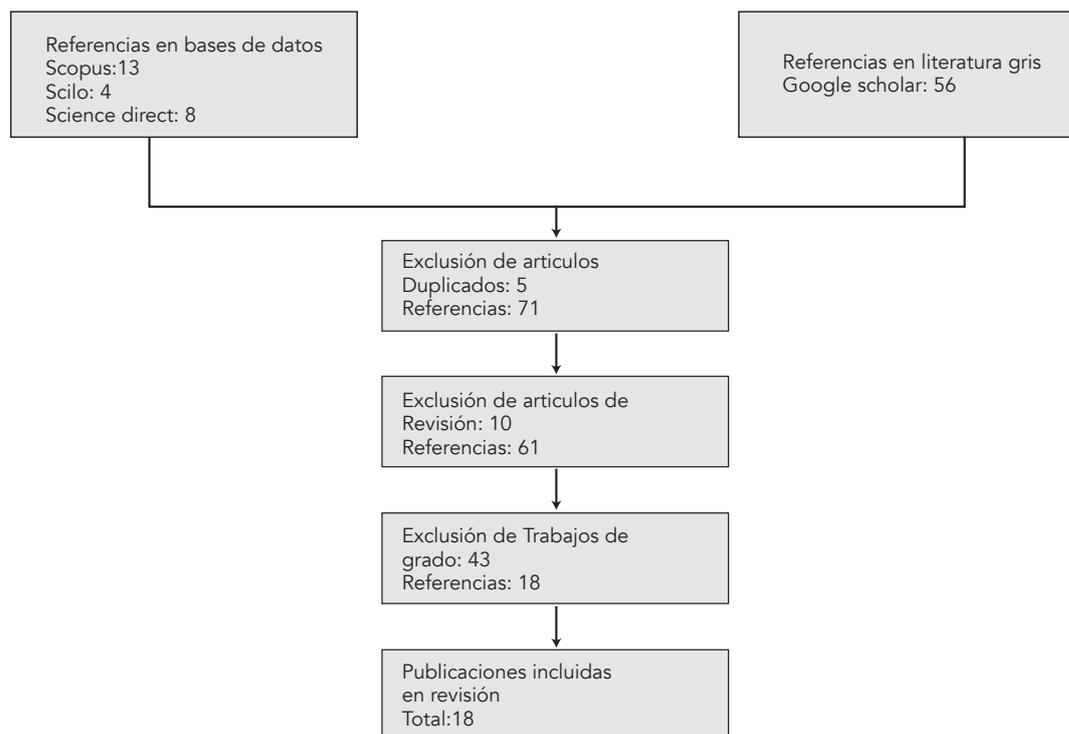
Para el desarrollo de la revisión literaria se utiliza la base de datos de Scopus, ScienceDirect, Google Scholar y Scielo.

Criterios de exclusión

Dentro de los criterios de exclusión se determinaron las siguientes condiciones:

- Artículos de revisión literaria.
- Artículos relacionados al modelo Conwip escritos antes del año 2012.
- Artículos que no se encuentran escritos por autores latinoamericanos o filiación a un ente educativo latinoamericano.
- Artículos donde la aplicación no se adecúe a un contexto latinoamericano.

Figura 3. Proceso de tamizado de artículos según metodología Prisma



Nota: Fuente elaboración propia.

III. Resultados

En total, se incluyeron 18 publicaciones; a continuación, los cuales se clasificaron en los ítems bases de datos, país, Año, tipo de investigación, herramienta complementaria e industria; en la tabla 1, se muestra el detalle de cada artículo:

Tabla 1. Listado de publicaciones después de proceso de tamizado

No.	Título de la publicación	Base de datos	País	Año	Tipo de investigación	Herramienta complementaria
1	Determining production and inventory parameters: An integrated simulation and mavy approach with tradeoff elicitation [13]	Scopus	Brasil	2018	Diseño de modelo	Simulación discreta
2	Implementation of hybrid Kanban-CONWIP system: A case study [14]	Scopus	Brasil	2017	Estudio de Caso	Kanban
3	A multi-attribute decision model for setting production planning parameters [15]	Scopus	Brasil	2016	Diseño de modelo	Diseño de experimentos-simulación discreta
4	Implementation of a hybrid system of the type constant work in progress (CONWIP) for the production control in a manufacturing plant of agriculture machine parts [16]	Scopus	Chile	2016	Estudio de caso	Ninguna
5	Concerning Workload Control and Order Release: The Pre-Shop Pool Sequencing Decision [17]	Scopus	Brasil	2015	Comparación de modelos	Simulación discreta
6	Work in process level definition: A method based on computer simulation and electre tri	Scopus	Brasil	2014	Diseño de modelo	Simulación discreta- Análisis multicriterio
7	Throughput Analysis of an Amazon Go Retail under the COVID-19-related Capacity Constraints [18]	Scopus	Colombia	2021	Estudio de caso	Teoría de colas
8	Simulated systems optimization through response surface techniques [19]	Scopus	Colombia	2015	Estudio de caso	Diseño de experimentos-simulación discreta
9	Production Control Model Using Lean CONWIP Systems to Improve Productivity in the Process of Sand Casting in a Heavy Metalworking SME Manufacturing Tools and Kanban/ [20]	Scopus	Perú	2021	Estudio de caso	Kanban
10	Card-based workload control for job shops: Improving COBACABAN [21]	Science direct	Brasil	2014	Comparación de modelos	Simulación discreta
11	Drum-buffer-rope in an engineering-to-order system: An analysis of an aerospace manufacturer using data envelopment analysis (DEA) [22]	Science direct	Brasil	2020	Estudio de caso	Diseño de experimentos-simulación discreta

No.	Título de la publicación	Base de datos	País	Año	Tipo de investigación	Herramienta complementaria
12	Serial production line performance under random variation: Dealing with the 'Law of Variability' [23]	Science direct	México	2019	Comparación de modelos	Diseño de experimentos-simulación discreta
13	Comparación y análisis de algunos sistemas de control de la producción tipo "pull", mediante simulación [24]	Google academics	Colombia	2012	Comparación de modelos	Simulación discreta
14	Applying a Markov approach as a lean thinking analysis of waste elimination in a rice production process [25]	Google academics	Costa Rica	2014	Comparación de modelos	Diseño de experimentos-Cadenas de Markov
15	Production time estimation on a ConWIP line that includes scrap and rework [26]	Google academics	Costa Rica	2021	Estudio de Caso	Diseño de experimentos
16	Manufacturing Strategies for an optimal pull-type production control system. Case study in a textile industry [27]	Scopus	Ecuador	2018	Estudio de caso	Simulación discreta
17	Personalized production in Industry 4.0: a CONWIP approach, [28]	Scopus	Argentina	2022	Diseño de Modelo	Industrias 4.0, Simulación
18	One-of-a-kind Production in Cyber-Physical Production Systems Considering Machine Failures [29]	Scopus	Argentina	2021	Diseño de Modelo	Industrias 4.0, Simulación

Nota: Fuente elaboración Propia (2022).

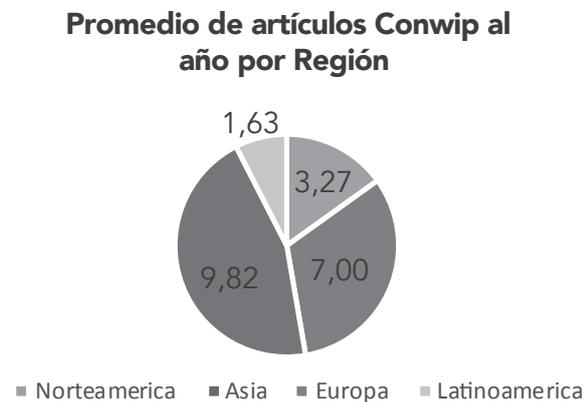
Figura 4. Publicaciones latinoamericanas por año en bases de datos del modelo Conwip



Nota: Fuente elaboración propia.

El promedio de publicaciones con respecto al Modelo Conwip en la región latinoamericana fue de 1,63 artículos al año, lo cual, en comparación a otras regiones del mundo, está por debajo de los promedios de Europa o de los países asiáticos; esto puede ser debido a la industrialización de cada región (Figura 5).

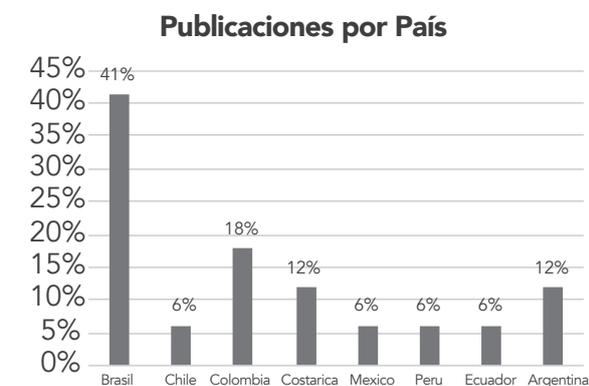
Figura 5. Promedio de artículos del Modelo Conwip al año por región



Nota: Fuente elaboración propia.

Dentro de la región latinoamericana, el país con mayor cantidad de publicaciones fue Brasil con un 41%, seguido por Colombia con un 18%; cabe resaltar la falta de publicaciones de México, a pesar de ser uno de los países más industrializados de la región (Figura 6).

Figura 6. Porcentaje de publicaciones del modelo Conwip por país

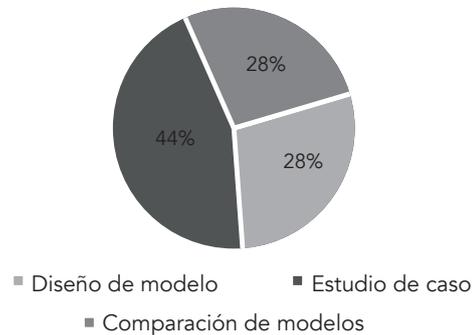


Nota: Fuente elaboración propia.

El enfoque de investigación se encontró que está dividido en estudios de casos, diseños de modelos y comparación de modelos, como se puede observar en la figura 7.

Figura 7. Enfoque de investigación de las publicaciones seleccionadas

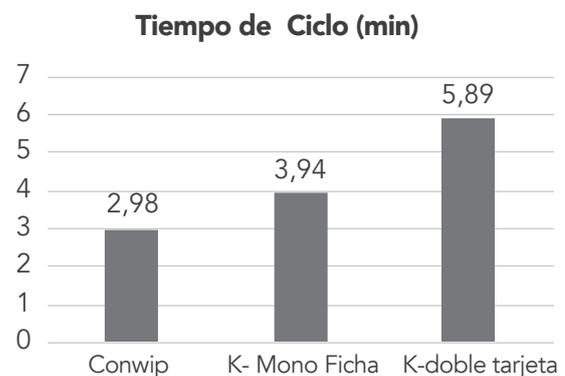
Enfoque de la Investigación



Nota: Fuente elaboración propia.

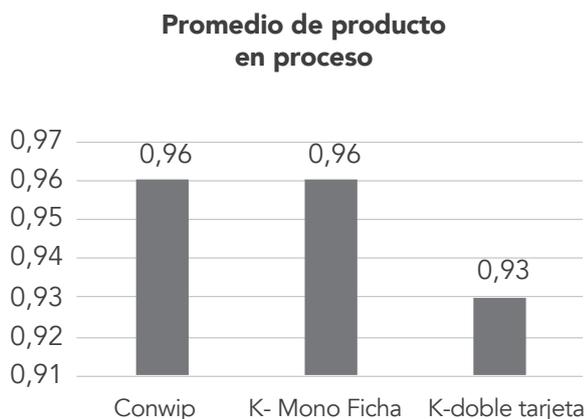
Se observa que varios de los escritos se enfocan en la comparación de los modelos Conwip con otros modelos de producción y definen los siguientes resultados en el estudio propuesto por Mora [24], quien compara con diferentes clases de modelos Kanban; existe un menor número de tiempo de ciclo en el modelo Conwip, pero son similares en el promedio de producto de proceso (los cuales se pueden observar en las figuras 8 y 9).

Figura 8. Tiempos de ciclo, según el modelo aplicado datos basados en Mora



Nota: Fuente tomada de [24].

Figura 9. Comparación de inventario promedio en proceso por tipo de modelo



Nota: Fuente tomado de [24].

Por otro lado, Romero [23] define que el modelo Conwip puede ser superior a las técnicas MRP y Kanban; sin embargo, es importante tener en cuenta los datos que requiere la capacidad del inventario en proceso para su buen desarrollo. En relación con los estudios de caso encontrados en la literatura, se tiene en cuenta, en particular, el estudio realizado por Prakash [28], en el cual la investigación realizada arroja resultados como:

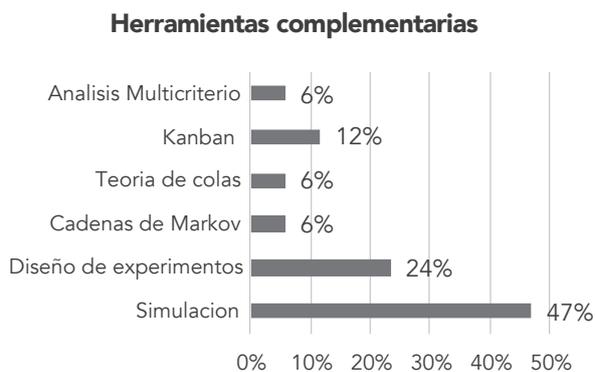
- Un mejoramiento de los niveles de stocks por medio del sistema Conwip en comparación del sistema empujar.
- Por medio del Conwip se evita la emisión de más de una orden de producción para un producto.
- Utilizando el sistema Conwip la producción se acerca a las ventas de productos, pasando de una media de diferencias del 11% al 4,6%.
- Una menor variabilidad por medio del sistema Conwip para el suministro de líneas en comparación al sistema Push.

En la revisión literaria se determinó el diseño de modelos basados en la técnica Conwip; en resumen, se observa que los modelos se encaminan a la toma de decisiones; los autores como Pergher [29] concluyen que las configuraciones de los procesos

impactan de manera significativa en el rendimiento de los inventarios en proceso. Los tres autores basan sus modelos en técnicas multicriterio, la utilización de la simulación como herramienta de validación y los principios del modelo Conwip para el desarrollo de los modelos propuestos.

A continuación, se presenta el porcentaje de herramientas complementarias utilizadas con el modelo Conwip de las publicaciones escogidas.

Figura 10. Herramientas complementarias observadas en las publicaciones después del tamizaje



Nota: Fuente elaboración propia.

IV. Discusión

Para resaltar, es importante citar a Spearman [32], el cual, en el año 2022 realiza un documento sobre la evolución del modelo Conwip y recoge situaciones en que este modelo no define claramente sus bondades, las cuales se resumen en los siguientes puntos:

1. La naturaleza del Conwip.
2. La superioridad los modelos POLCA y DBR.
3. La reducción de plazos de entrega a los clientes.
4. La posibilidad de trabajar en sistemas con alta variabilidad.

Para el primer punto, Spearman define que el Modelo Conwip no es un modelo híbrido entre Push y Pull, sino que es un modelo totalmente Pull; cabe resaltar que esta confusión en su naturaleza se debió a diferentes definiciones de los modelos Pull por parte de autores como Womak y Jones en los años 90. En el segundo punto, los modelos POLCA y DBR han sido superiores en situaciones cuando hay distintos cuellos de botella y estos no se mueven; Spearman asegura que es cierta la superioridad de los modelos en comparación del Conwip, pero afirma que la relación costo-beneficio es más baja y el grado de complejidad para implementar estos sistemas es mucho más alto en comparación al modelo Conwip. En el tercer punto propuesto en el documento de Spearman, es posible la reducción de plazos de entrega a los clientes por medio de la generación de una cola ficticia, la cual permite aumentar o reducir la capacidad, además de proporcionar una respuesta rápida a pedidos de emergencia de los clientes. En el cuarto punto Spearman considera que el Conwip se puede adaptar a sistemas con alta variabilidad, pero las mediciones de los indicadores de trabajo del Conwip deben ser tomadas diferentes, según la gama de productos, y si tienen el mismo o diversos cuellos de botella en el proceso.

Por último, Spearman considera que el modelo Conwip se ha aplicado en diferentes contextos en la manufactura y, a futuro, propone la aplicación de este modelo en la planeación y aplicación de proyectos de diferente índole como, por ejemplo, la construcción.

V. Conclusiones

El desarrollo del modelo Conwip en Latinoamérica, en base a las publicaciones científicas de los últimos diez años, ha sido bajo en comparación a otras regiones del mundo, lo cual puede definir una correlación con los procesos de industrialización de las regiones, a pesar de que en México no se encontraron publicaciones relevantes en los últimos diez años relacionadas al tema Conwip.

El modelo Conwip ha demostrado, según las publicaciones revisadas, un rendimiento mejor que otros modelos como Kanban o MRP, en indicadores como tiempos de ciclo, manejo de inventario en proceso y disminución de la variabilidad.

En las publicaciones se define como herramienta la validación de los modelos Conwip; herramientas como la simulación discreta y el diseño de experimentos, que permiten definir los resultados de los modelos sin necesidad de aplicarlos de forma física.

Dentro de los resultados obtenidos de la revisión, los autores se han enfocado en tres tipos de investigación en los modelos Conwip, como el diseño de modelos, estudios de caso en comparación con modelos tipo Pull y Push, se observa una mayor adhesión a los estudios de caso en diferentes contextos industriales.

VI. Referencias

- [1] P. González, "Control de la Producción Mediante un Sistema con Inventario en Proceso Constante: CONWIP. Estado de la Cuestión", *Conferencia de Ingeniería de Organización*, 2002, Vigo, España, pp. 457-465
- [2] D. Sipper and B. Robert, *Planeación y control de la producción*, México, McGraw Hill, 1998.
- [3] Y. Jaegler, A. Jaegler, D. Trentesaux, P. Burlat and S. Lamori, "The Conwip production control system: a systematic review and classification", *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, vol. 50, n° 3, pp. 187, 2017.
- [4] R. Marek, P. Elkins, and D. Smith, "Understanding the fundamentals of Kanban and CONWIP pull systems using simulation", In *Proceeding of the 2001 Winter Simulation Conference*, 2001, Arlington USA (vol. 2, pp. 921-929).
- [5] Q. Gong, Y. Yang, and S. Wang, "Information and decision-making delays in MRP, KANBAN, and CONWIP", *International Journal of Production Economics*, vol. n° 156, pp. 208-213, 2014.
- [6] A. Korugan and S. Gupta, "An adaptive CONWIP mechanism for hybrid production systems", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 74, n° 5, pp. 715-727, 2014.
- [7] N. Agrawal, "Review on just in time techniques in manufacturing systems", *Advances in Production Engineering & Management*, Vol. 5, n 2, pp. 101-110, 2010.
- [8] F. Zhou, P. Ma, Y He., S. Pratap , P. Yu, and B. Yang, "Lean production of ship-pipe parts based on lot-sizing optimization and PFB control strategy", *Kybernetes*, vol. 50, n° 5, pp. 1483-1505, 2020. [En línea]. Disponible en: doi: <https://doi.org/10.1108/K-06-2019-0389>
- [9] G. Bonilla and J. Ocoro, *Revisión de la implementación de la técnica Kanban en empresas productivas*, Doctoral dissertation, Universidad Santiago de Cali, Cali Colombia, 2019.
- [10] T. Al-Hawari, A. Qasem and H. Smadi, "Development and evaluation of a Basestock-CONWIP pull production control strategy in balanced assembly systems", *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol., n° 84, pp. 83-105, 2018.
- [11] G. Bagni, M. Godinho Filho, M. Thürer and M. Stevenson, "Systematic review and discussion of production control systems that emerged between 1999 and 2018", *Production Planning & Control*, vol. 32, n° 7, pp. 511-525, 2021.
- [12] G. Urrutia, and X. Bonfill, "Declaración Prisma: "Una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y meta análisis", vol. 135, n° 11, pp. 507-511, 2010.
- [13] I. Perguer, "Determining production and inventory parameters: An integrated simulation and mavn approach with tradeoff elicitation", *Revista Pesquisa Operacional*, vol. 38, n° 1, pp. 87-97, 2018.
- [14] D. Leonardo, B. Sereno, D. Silva, M. Sampaio, A. Massote and J. Simoes, "Implementation of hybrid Kanban-CONWIP system: A case study", *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 28, n° 6, pp. 714-736, 2017.
- [15] I. Perguer and A. Teixeira, "A multi-attribute decision model for setting production planning parameters", *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 42, n° 1, pp. 224-232, 2017.
- [16] A. Hoose, L. Consalter and O. Duran, "Implementation of a hybrid system of the type constant work in progress (CONWIP) for the production control in a manufacturing plant of agriculture machine parts", *Revista Información tecnológica*, vol. 27, n° 2, pp. 111-120, 2016.
- [17] M. Thürer, L. Martin, M. Stevenson, F. Lawrence, F. Moacir, "Concerning Workload Control and Order Release: The Pre-Shop Pool Sequencing Decision", *Production and Operations Management*, vol. 24, n° 7, pp. 1179-1192, 2015.
- [18] I. Perguer and G. Roehe, "Work in process level definition: A method based on computer

- simulation and electre tri", *Production*, vol. 24, n° 3, pp. 536-547, 2014.
- [19] A. Calderon, J. Coronado, I. Portnoy, "Throughput Analysis of an Amazon Go Retail under the COVID-19-related Capacity Constraints", *Procedia Computer science*, vol. 198, pp. 602-607, 2022.
- [20] L. Prada, J. Chinchay, F. Maradiegue, C. Raymundo, "Production Control Model Using Lean Manufacturing Tools and Kanban/CONWIP Systems to Improve Productivity in the Process of Sand Casting in a Heavy Metalworking SME", *5th Brazilian Technology Symposium*, 2019, Brazilian, pp. 439-447.
- [21] M. Thüerer, L. Martin, M. Stevenson, "Card-based workload control for job shops: Improving COBACABAN", *International Journal of Production Economics*, vol. 147, pp. 180-188, 2014.
- [22] E. Telles, D. Lacerda, M. Morandi and F. Piran, "Drum-buffer-robe in an engineering-to-order system: An analysis of an aerospace manufacturer using data envelopment analysis (DEA)", *International Journal Of Production economics*, p. 107500, 2020.
- [23] R. Romero, E. Marsilac, S. Shabban, M. Hurtado, "Serial production line performance under random variation: Dealing with the 'Law of Variability" *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 50, pp. 278-289, 2019.
- [24] B. Mora, L. Tobar and M. Soto, "Comparación y análisis de algunos sistemas de control de la producción tipo "pull", mediante simulación", *Scientia Et Technica*, vol. 17, n° 51, pp. 100-106, 2012.
- [25] M. Caldwell and G. Eldon, "Applying a Markov approach as a Lean Thinking analysis of waste elimination in a Rice Production Process", *International Journal on Food System Dynamics, International Center for Management, Communication, and Research*, vol. 5, n° 4, pp. 1-8, 2015.
- [26] A. Mejicano, and E. Barrantes, "Production time estimation on a ConWIP line that includes scrap and rework", *First Central American and Caribbean International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Port-au-Prince Haiti, 2021.
- [27] D. Aldás, J. Reyes, L. Morales, K. Álvarez, N. Portalanza and R. Amán, "Manufacturing Strategies for an optimal pull-type production control system. Case study in a textile industry", *Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI)* (pp. 1-6), Bogotá Colombia, 2018.
- [28] G. Vinci and D. Alejandro "Personalized production in Industry 4.0: a CONWIP approach", *International Conference on Decision Aid Sciences and Applications (DASA)*, Chiangrai, Tailandia, 2022, doi: 10.1109/DASA54658.2022.9765135
- [29] G. Vinci Carlván and D. A. Rossit, "One-of-a-kind Production in Cyber-Physical Production Systems Considering Machine Failures", *Journal of Integrated Design and Process Science*, Preprint, pp. 1-20, 2021.
- [30] J. Prakash and J. Chin, "Effects of inventory classifications on CONWIP system: a case study", *Journal of Management Analytics*, vol. 4, n° 3, pp. 296-320, 2017.
- [31] I. Pergher, *Um método para quantificar o estoque em processo à luz da simulação computacional e da análise multicritério*, (Teses de Maestria) Engenharia de produção e sistemas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2011.
- [32] M. Spearman, D. Woodruff and W. Hopp, "CONWIP Redux: reflections on 30 years of development and implementation", *International Journal of Production Research*, vol. 60, n° 1, pp. 381-387, 2022.
- [33] M. Stopper, B. Gastermann, F. Luftensteiner and B. Katalinic, "ConWIP-based Packing Order Planning Software Prototype for Variant-centered Manufacturing", In *Proceedings of the*

- International MultiConference of Engineers and Computer Scientists* (vol. 2), 2014.
- [34] O. Oviedo and R. Peñabaena, "Optimización de sistemas simulados a través de técnicas de superficie de respuesta", *Revista Chilena de Ingeniería*, vol. 23, n° 3, pp. 421-428, 2015.
- [35] F. Bernardi, A. Freitas, O. Agostinho, "A interdependência entre sistemas de controle de produção e critérios de alocação de capacidades", *Revista gestão & produção*, vol. 9, pp. 215-234, 2002.
- [36] R. Alcocer, J. García, V. Fernández and H. González, "Aplicación de la herramienta Conwip para mejorar el proceso en la empresa productos forestales Floviesa", *Revista Pistas Educativas*, vol. 42, pp. 136, 2020.
- [37] R. Ruiz Usano and M. Muñoz Pérez, "Sistemas de control push-pull. Un estudio comparativo", *IV Congreso de Ingeniería de Organización*, Sevilla, España, 2002.
- [38] R. Ruiz, J. Framiñán, A. Crespo and M. Muñoz, "Simulación continua y discreta de un sistema de producción con inventario en proceso constante", *IV Congreso de Ingeniería de Organización*, Sevilla, España, 2002.
- [39] P. González, J. Framiñán and R. Ruiz, "Control de la Producción Mediante un Sistema con Inventario en Proceso Constante: CONWIP. Estado de la Cuestión", *IV Conferencia de Ingeniería de Organización*, Sevilla, España, 2002.
- [40] P. González, J. Framiñán, M. Muñoz and Ruiz, "Ajuste dinámico de tarjetas en un sistema CONWIP", *V Congreso de Ingeniería de Organización*, Valladolid, España, 2003.
- [41] P. Rodríguez, J. Blanco and R. Usano, "Establecimiento de los parámetros de operación de un sistema de control de la producción Conwip dinámico mediante RSM", *IX Congreso de Ingeniería de Organización*, Gijón, España, 2005.
- [42] D. da Silva, A. Dupont, G. Vaccaro, and J. Júnior, "Avaliação da implantação de um sistema CONWIP com o uso de simulação computacional", *XXX Encontro Nacional de engenharia de produção*, São Carlos, Brasil, 2010.
- [43] J. Mesa, D. Cadavid, and J. Montoya, "Aplicación de CONWIP para mejorar los ciclos de retorno de canastillas para el manejo de frutas y verduras en almacenes de cadena", *Revista Soluciones de Postgrado*, vol. 2, n° 3, pp. 95-112, 2009.
- [44] M. Mesquita and R. Castro, "Análise das práticas de planejamento e controle da produção em fornecedores da cadeia automotiva brasileira", *Gestão & Produção*, vol. 15, n° 1, pp. 33-42, 2008.
- [45] M. García, and J. García, "Reducción del trabajo en proceso en una empresa manufacturera mediante la aplicación de un sistema de tarjetas Kanban y escenarios de simulación", *Revista Pistas Educativas*, vol. 41, p. 133, 2019.
- [46] F. Mariz, *Análise comparativa dos modelos Drum-Buffer-Rope e Constant Work-In-Process em um ambiente com montagem e produção contra pedido*, Doctoral dissertation, engenharia de produção, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2019.
- [47] L. Ferro and J. Núñez, *Evaluación de diferentes modelos de producción aplicada a la empresa litográfica LitoPerla Impresores Ltda.*, Tesis de pregrado, Facultad de ingeniería, Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 2010.
- [48] C. Gutiérrez, *Comparación de sistemas de control de piso en presencia de recursos de capacidad limitada mediante simulación con Redes de Petri*, Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, 2005.
- [49] A. Barón, J. López and J. Mejía, "Comparación y análisis de algunos sistemas de control de la producción tipo "pull", mediante simulación",

- Scientia et Technica*, vol. 17, n° 51, pp. 100-106, 2012.
- [50] J. Torres and R. Usano, "Modelo de programación lineal para la secuenciación de trabajos en una línea de flujo regular controlada por un sistema con inventario en proceso constante", *XXV Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa*, Vigo, España, 2000.
- [51] P. González, J. Molina, J. León and R. Ruiz, "Evaluación del impacto del reprocesado en los sistemas Kanban y Conwip", *Dirección y Organización*, vol. 42, pp. 46-53, 2010.
- [52] F. Souza, A. Rentes, and O. Agostinho, "A interdependência entre sistemas de controle de produção e critérios de alocação de capacidades", *Gestão & Produção*, vol. 9, n° 2, pp 215-234, 2002.
- [53] A. Lorenzo 2018, *Dinámica de sistemas para la simulación de técnicas híbridas de control de la producción*, Tesis de pregrado, Departamento de organización Industrial, Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2018
- [54] M. Da Silva Dias, *Análise e Melhoria dos Processos e Implementação do Conwip Numa Empresa Industrial*, Doctoral dissertation, Instituto Politécnico do Porto, Porto, Portugal, 2019.
- [55] O. Rubiano, M. Hurtado Jiménez and D. Rangel, "Exploración del postponement como estrategia de gestión de la cadena de valor", *Revista Heurística*, 2013.
- [56] J. Guichard, "Sistema de Produção Pull realizado na Bosch Car Multimedia Portugal", Tesis de maestría 2009, Faculdade de engenharia Industrial e Gestão, Universidade do Porto, 2009.
- [57] F. Chinet and M. Godinho Filho, "Sistema POLCA: revisão, classificação e análise da literatura", *Gestão & Produção*, vol. 21, n° 3, pp. 532-542, 2014.
- [58] D. Pinzón, W. Sarmiento, and D. Sandoval, "Uso y aplicación de herramientas del modelo de producción Toyota: una revisión de literatura", *Revista Politécnica*, vol. 14, n° 27, pp. 80-92, 2018.
- [59] C. Cheng, L. Shu-Fen Li, L. Chia-Leng, R. Jientrakul, and C. Yuangyai, "A Comparative Study of Unbalanced Production Lines Using Simulation Modeling: A Case Study for Solar Silicon Manufacturing", *Sustainability*, vol. 14, n° 2, p. 697, 2022.
- [60] S. Vespoli, A. Grassi, G. Guizzi and V. Popolo, "A Deep Learning Algorithm for the Throughput Estimation of a CONWIP Line", *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, [En línea], 2021.
- [61] L. Leaven, S. Wang, L. Coley and S. Udoka, "Achieving Optimal Safety Inventory Levels for Oil Companies using the CONWIP Approach", *Int. J. Sup. Chain. Mgt*, vol. 6, n° 4, p. 17, 2017.
- [62] O. Olaitan, E. Alfnes, J. Vatn and J. Strandhagen, "CONWIP implementation in a system with cross-trained teams", *International Journal of Production Research*, vol. 57, n° 20, pp. 6473-6486, 2019.
- [63] C. Gutti, F. Segura, F. Maradiegue and J. Alvarez-Merino, "Kanban-CONWIP Hybrid Model for Improving Productivity of an Electrostatic Coating Process", *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 1295-1299), Macao, China, 2019.
- [64] T. Yang, Y. Hung and K. Huang, "A simulation study on CONWIP system design for bicycle chain manufacturing", *IFAC-PAPERS ONLINE*, vol. 52, n° 13, pp. 2477-2481, 2019.

- [65] S. Khan and C. Standridge, "Aggregate simulation modeling with application to setting the CONWIP limit in a HMLV manufacturing cell", *International Journal of Industrial Engineering Computations*, vol. 10, n° 2, pp. 149-160, 2019.
- [66] D. Roy and V. Ravikumar, "An extensive evaluation of CONWIP-card controlled and scheduled start time based production system designs.", *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 50, pp. 119-134, 2019.
- [67] X. Li, Z. Li and G. Wu, G, "Lean precast production system based on the CONWIP method", *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 22, n° 7, pp. 2167-2177, 2018.
- [68] W. Yanhong, H. Junxia, T. Yuanyuan, T. Zhongda and Z. Jun, "A modified CONWIP production control strategy for lamp production line", *2018 Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, Shenyang, China, 2018.
- [69] Yue, W., Rui, M., & Yan, L., "The Research of Shipbuilding Schedule Planning and Simulation Optimization Technique Based on Constant Work-In-Process System", *Journal of Ship Production and Design*, vol. 34, n° 1, pp. 20-31, 2018.
- [70] M. Durmusoglu and C. Aglan, "CONWIP and hybrid CONWIP production control systems: a literature review", *Production Management: Advanced Models, Tools, and Applications for Pull Systems*, CRC Press, Boca Ratón, Estados Unidos, 2017.
- [71] J. Prakash and J. Chin, "Modified CONWIP systems: a review and classification", *Production Planning & Control*, vol. 26, n° 4, pp. 296-307, 2015.
- [72] A. Hübl and G. Fischer, "Simulation-based business game for teaching methods in logistics and production", *Winter Simulation Conference (WSC)*, Las Vegas, Estados Unidos, 2017.
- [73] G. Huang, J. Chen, X. Wang, Y. Shi, and H. Tian, "From loop structure to policy-making: A CONWIP design framework for hybrid flow shop control in one-of-a-kind production environment", *International Journal of Production Research*, vol. 55, n° 12, pp. 3374-3391, 2017.
- [74] H. Xiaoju and W. Dingwei, W, "Simulation on RFID-enable CONWIP control strategy for multi-echelon inventory of supply chain", *Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, Yinchuan, China, 2016.
- [75] T. Frazee and C. Standridge, "Conwip versus POLCA: A comparative analysis in a high-mix, low-volume (HMLV) manufacturing environment with batch processing", *Journal Of Industrial Engineering And Management (JIEM)*, vol. 9, n° 2, pp. 432-449, 2016.
- [76] F. Crop, T. Lacornerie, X. Mirabel and E. Lartigau, "Workflow optimization for robotic stereotactic radiotherapy treatments: application of constant work in progress workflow", *Operations Research for Health Care*, vol. 6, pp. 18-22, 2015.
- [77] C. Aglan and M. Durmusoglu, Lot-splitting approach of a hybrid manufacturing system under CONWIP production control: a mathematical model", *International Journal of Production Research*, vol. 53, n° 5, pp. 1561-1583, 2015.
- [78] S. Heragu and A. Gupta, "CONWIP: closed or semi-open queuing network?", *International Journal of Operational Research*, vol. 24, n° 3, pp. 356-367, 2015.
- [79] P. Renna, "A fuzzy control system to adjust the number of cards in a CONWIP-based manufacturing system", *International Journal of Services and Operations Management*, vol. 20, n° 2, pp. 188-206, 2015.
- [80] J. Mortágua, N. Fernandes and S. Carmo-Silva, "Comparing card-based production control mechanisms in MTO production ", *28th European Simulation and Modelling Conference-ESM'2014. FEUP-University of Porto*, Porto, Portugal, 2014.
- [81] S. Ajorlou and I. Shams, "Artificial bee colony algorithm for CONWIP production control system in a multi-product multi-machine

- manufacturing environment", *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 24, n° 6, pp. 1145-1156, 2013.
- [82] M. Aziz, E. Bohez, R. Pisuchpen and M. Parnichkun, "Petri Net model of repetitive push manufacturing with Polca to minimise value-added WIP", *International Journal of Production Research*, vol. 51, n° 15, pp. 4464-4483, 2015.
- [83] H. Yoon and J. Kim, " Heuristic scheduling policies for a semiconductor wafer fabrication facility: minimizing variation of cycle times", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 67, n° 1, pp. 171-180, 2013.