

INVESTIGACIÓN

# Modelo de simulación para implementar equipos de automatización en centro de distribución de la empresa P&P

## Simulation model to implement automation equipment in the distribution center of the P & P company

Santiago Luis Franco\*

Jhon Henry Muñoz Rodríguez\*\*

Felipe Lopera Bohórquez\*\*\*

Mauricio Montoya Peláez\*\*\*\*

Isabel Cristina Arango Palacio\*\*\*\*\*

### Resumen

La gestión en los centros de distribución tiene un alto impacto en la satisfacción de los clientes. Estos deben responder rápidamente en la recepción del proceso productivo, mantener una alta confiabilidad en el almacenamiento y controlar los costos de funcionamiento. El objetivo de este informe es presentar el análisis de diferentes tecnologías para mejorar la gestión del centro de distribución principal que la empresa *Phantom Product* proyecta para las necesidades del 2020, mediante un modelo de simulación *FlexSim*, para garantizar que el 95 % de los días no se detengan las líneas de producción por desatención o ineficiencia del área logística del centro de distribución. La metodología está enfocada en la simulación y diseño experimental en la operación de recepción y almacenamiento del centro de distribución, proporcionando el estado del arte. Los resultados se generan a partir de la simulación, en la que se identifica la necesidad y se verifica la capacidad de las herramientas para mejorar la operación del centro de distribución, pudiendo validar de esta manera, en el análisis de la información, cuál de las opciones de equipos para el almacén está cumpliendo los requerimientos en tiempos de recepción de la planta y en costos a partir de paros en cada opción.

\* Estudiante de Ingeniería de Productividad y Calidad-Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín. Correo electrónico: [santiago\\_franco92121@elpoli.edu.co](mailto:santiago_franco92121@elpoli.edu.co), Orcid: 0000-0001-7332-002X.

\*\* Estudiante de Ingeniería de Productividad y Calidad-Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín. Correo electrónico: [jhon\\_munoz92141@elpoli.edu.co](mailto:jhon_munoz92141@elpoli.edu.co), Orcid: 0000-0001-5731-0614.

\*\*\* Estudiante de Ingeniería de Productividad y Calidad-Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín. Correo electrónico: [felipe\\_lopera92141@elpoli.edu.co](mailto:felipe_lopera92141@elpoli.edu.co), Orcid: 0000-0002-5008-8018.

\*\*\*\* Magíster en Ingeniería Administrativa, docente ocasional-Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín. Correo electrónico: [mmontoya@elpoli.edu.co](mailto:mmontoya@elpoli.edu.co), Orcid: 0000-0002-0953-344X.

\*\*\*\*\* Magíster en Logística integral, docente ocasional-Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín. Correo electrónico: [isabelarango@elpoli.edu.co](mailto:isabelarango@elpoli.edu.co), Orcid: 0000-0003-1721-7591.

## Palabras clave

Almacenamiento; Costos; Tecnología de almacenamiento; Simulación; Optimización.

## Abstract

Management in distribution centers have a high impact on customer satisfaction. They must responded quickly to the productive process receiving area to maintain a high reliability in the storage and to control of the products and the operating costs. The objective of this report is to present the analysis of different technologies to improve the management of the main distribution center that the Phantom Product company projects for the needs of the year 2020, through a FlexSim simulation model, to guarantee that at least in 95% of the days the production lines are not stopped due to inattention or inefficiency of the logistics area of the distribution center. This methodology is focused on the simulating and experimental design of the receiving and storage operation of the distribution center, providing a state of the art work. The results are generated from simulation, which identifies the needs and verifies the ability of the tools used to improve the operation of the distribution center, thus being able to validate, the analysis of the information, which of the equipment options for the warehouse is meeting the requirements in times of the plant receiving goods and the costs increase from the stoppage in each option.

## Keywords

Storage; Costs; Storage technology; Simulation; Optimization.

# Introducción

El siguiente es el análisis de un caso empresarial para la compañía *Phantom Products* (P&P), que realizó el Semillero de Investigación SILOGIC, del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, para participar en un concurso de simulación logística.

*Phantom Products* (P&P) está diseñando y evaluando cambios en su infraestructura logística, por lo cual ha estado trabajando en conjunto con el equipo de consultoría SILOGIC para establecer el diseño conceptual de la localización y de las operaciones para el año 2020. Parte de la construcción está en la identificación del mejor nivel de automatización entre los montacargas, equipos AGV y equipos ASRS, en diferentes combinaciones, para sus procesos de atención de planta y almacenamiento de productos.

Para el análisis se usará un *software* simulador logístico –es necesario estudiar los diferentes manuales (FlexSim, 2016)–, el cual proporciona herramientas de simulación en tercera dimensión para representar un modelo entre procesos y tiempos (FlexSim, 2016). Se cuenta con información como unidades entregadas, velocidad de los equipos, pedidos de los clientes, paros de los procesos, costos y demás información, como el *layout* del almacén con sus respectivas medidas y flujos.

La simulación de sistemas, desde la perspectiva técnica, permite la correspondencia entre el sistema real y el modelo de simulación que lo representa, técnica que permite que el modelo este construido a la medida del sistema simulado (Montanero, Lucero y Méndez, 2008).

La empresa está trabajando en las operaciones de uno de sus principales centros de distribución, ubicados en las afueras de la ciudad. P&P desea asegurar la atención a la planta, garantizando que el 95 % de los días no se detengan las líneas de producción por desatención o ineficiencia del área de logística del centro de distribución y conservando el mínimo costo. La empresa quiere evaluar cuatro alternativas de funcionamiento para atender la planta: Montacargas/Montacargas, Montacargas/*Automatic Storage and Retrieval System* (ASRS), *Automatic Guided Vehicle* (AGV)/Montacargas y AGV/ASRS. Entre las variables de decisión para seleccionar las mejores opciones se encuentra los costos (ver tabla 1).

Tabla 1. Variable de costos.

	Costos				
	Montac. (40)	Montac. (5)	Montac. (5)	Asrs- agv	
	Costo/mes	Operarios	Asrs	Agv	13 Vehículos
Planta eléctrica bodega	839	839	839	839	-
Operarios montacarguistas (unidad)	2.475	99.000	37.125	37.125	-
Operar instalaciones	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
Mantenimiento vehículos					
Automatizados /vehículo	270	-	-	29.376	3.510
Controlador de automatización por operario	9.792	-	9.792	9.792	9.792
Mantenimiento asrs/mes	720	-	2.160		17.280
Total		101.339	51.416	78.632	32.082
Costos paro/min.		35	18	27	11
Paradas programadas 60 min/día		2.111	1.071	1.638	668
Paradas no programadas 22 min/día		46.447	23.566	36.040	14.704
Costo paros día		48.558	24.637	37.678	15.373
Costos total por paro mes		1.213.957	615.921	941.946	384.316

Fuente: elaboración propia.

Según la tabla 1, evaluando los costos fijos de la planta, tales como operaciones, mantenimiento y mano de obra, se puede observar que la mejor opción está en el ASRS – AGV con un valor de \$ 32.082, y en paros programados y no programados el valor es de \$ 384.316. Otras variables de estudio que deben ser consideradas para hacer el modelo de simulación son la cantidad de zapatos terminados que se producen de la planta de P&P y la cantidad de *pallets* entregados desde la misma.

El problema más complejo en este tipo de sistemas tiene relación con la variabilidad de los procesos. Se estudió el movimiento de flujos de estibas completas de acuerdo al número de referencias que se producen para ser llevadas al *rack* dinámico, de modo que no se generen cuellos de botella, previniendo además los paros del proceso por situaciones adversas, imprevistos o falta de recursos (tiempo, herramientas y mano de obra).

Con la simulación se pretende mejorar los procesos y automatizar aquellas áreas en donde se detectan los inconvenientes más repetitivos que, por ende, afectan la continuidad del proceso de almacenamiento, desde que sale el producto terminado hacia el *rack* dinámico y de ahí al almacenamiento en general, para que quede a disposición de la distribución (Gómez y Correa, 2011).

A partir de la identificación de la restricción que afecta la labor continua del proceso, se deberán tomar las decisiones más favorables que logren un mejor impacto al implantarlo en la vida real y lograr así cumplir con los objetivos trazados desde el comienzo.

## Presentación del caso

P&P es una de las principales empresas productoras de zapatos a nivel internacional. Como parte de su proceso de crecimiento, la compañía está diseñando y evaluando cambios en su infraestructura logística, para lo cual se encuentra trabajando en las operaciones de uno de sus principales centros de distribución ubicado en las afueras de la ciudad de Medellín. La empresa ha estado trabajando en conjunto con el equipo de consultoría SILOGIC para establecer el diseño conceptual de la localización y de las operaciones para el año 2020. Sin embargo, continúa teniendo algunas inquietudes acerca de ciertos equipos de automatización dentro de los procesos de atención de planta (Phantom Products Company, 2016).

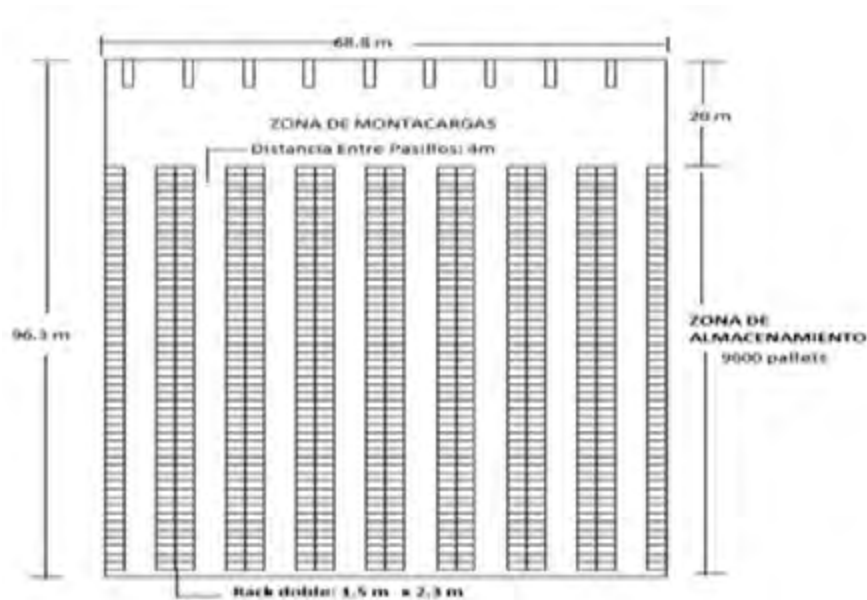
Para resolver estas inquietudes, el equipo de consultoría SILOGIC propuso a P&P el desarrollo de un modelo de simulación que les permita observar la implementación de los equipos de automatización y otras alternativas de interés. Con este modelo podrían observar su operación futura sin incurrir aún en costos de implementación, permitiendo probar distintos escenarios de interés. P&P se interesa en la simulación para la mejora y evaluación de sus procesos y, mejor aún, para proyectar la gestión de una operación que a la fecha no existe y que tiene un crecimiento importante de volumen con respecto a la operación actual (Phantom Products Company, 2016).

Se debe identificar el mejor nivel de automatización para sus procesos de atención de planta y almacenamiento de productos. Particularmente quiere tener toda la información necesaria para escoger entre montacargas y AGV para transportar los *pallets* de producto desde la planta hasta la zona de almacenamiento, y escoger entre montacargas y ASRS con el almacenamiento de los *pallets* en estanterías. Todo esto asegurando la atención en planta y minimizando costos (Phantom Products Company, 2016).

El *layout* correspondiente a la zona de recepción y de almacenamiento cuenta con nueve (9) bandas transportadoras que conectan al área de producción con la zona de logística, de estas bandas salen los productos ya pelletizados<sup>1</sup> y listos para almacenar (ver figura 1).

<sup>1</sup> Los *pallets* de P&P son de tamaño estándar de 1.0 m. x 1.2 m.

Figura 1. Layout del CEDI. Datos P&amp;P.



Fuente: Información de caso de estudio.

## Procesos

La sub-sección del diseño conceptual que se desea evaluar corresponde a los procesos de atención de planta y almacenamiento de producto terminado, como se había mencionado anteriormente. El proceso específico es el siguiente:

1. Cada línea de producción está constantemente produciendo un tipo de zapato diferente.
2. Dentro de la planta de producción se ubica cada tipo de zapato en su embalaje correspondiente (caja) y se arman *pallets* mono producto de acuerdo a las especificaciones de almacenamiento.
3. Los *pallets* son ubicados en las bandas transportadoras que conectan a la planta con la zona logística, con el fin de ser almacenadas dentro de la bodega.
4. El área logística del CEDI debe encargarse de evacuar eficientemente el producto que llega a la zona logística a través de las bandas y que luego al ser tomado de estas, se transporta y se ubica en la posición respectiva de almacenamiento.



La figura 2 ilustra de manera genérica el proceso de funcionamiento de la planta de producción al CEDI; mientras que la figura 3 muestra el esquema de las alternativas con las distintas opciones entre montacargas, AGV y ASRS.

Figura 2. Esquema de las alternativas.



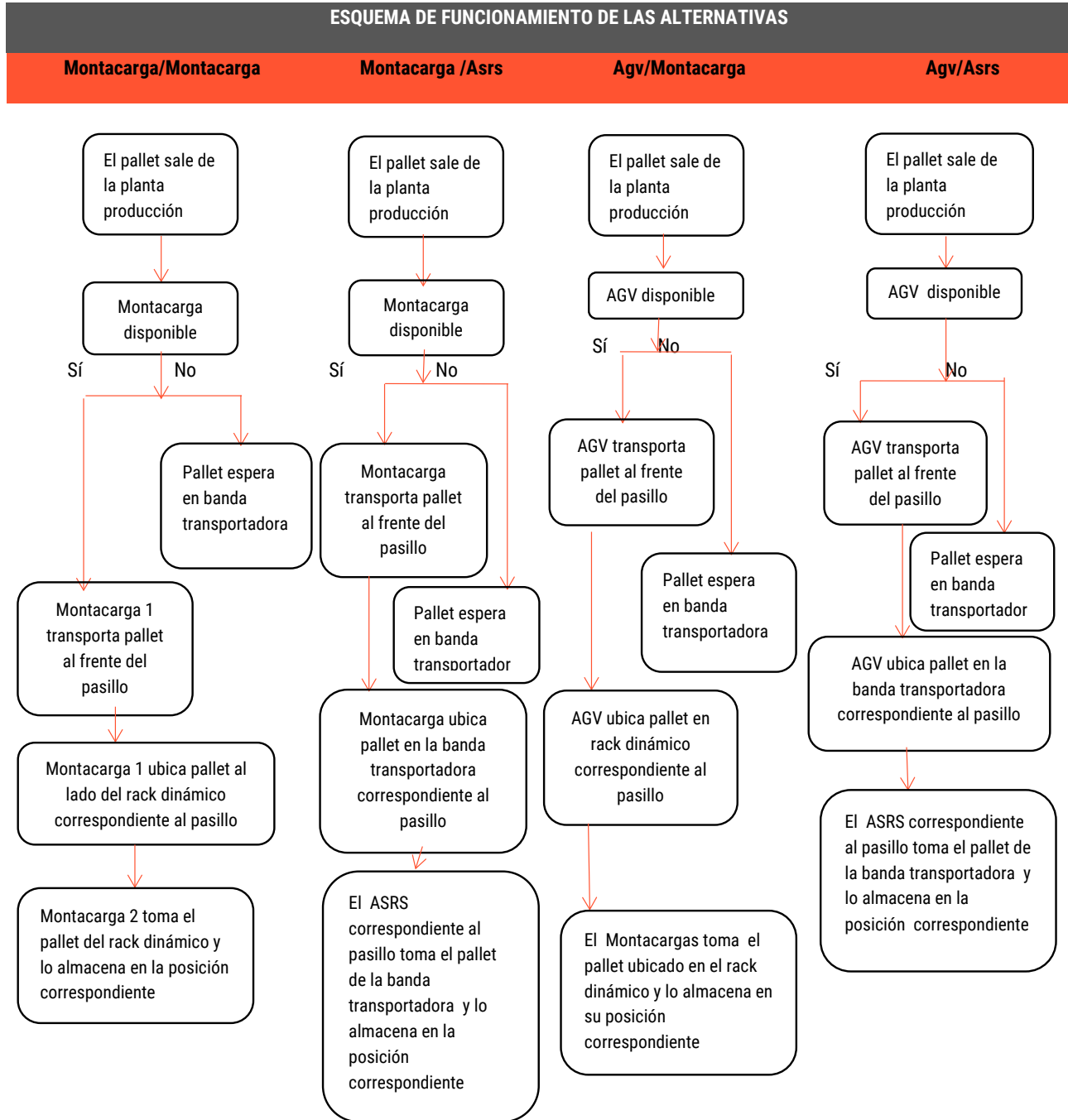
Fuente: elaboración propia.

## Problema de investigación

Se pretende tener toda la información necesaria para escoger entre montacargas y AGV para transportar los *pallets* de producto desde la planta hasta la zona de almacenamiento y escoger entre montacargas y ASRS del almacenamiento de los *pallets* en estanterías, evaluando las cuatro alternativas anteriormente planteadas para atender a la planta.

SILOGIC debe plantear la mejor alternativa que cumpla los requerimientos mencionados, indicar los recursos necesarios para el sistema propuesto y cumplir las restricciones expresadas.

Figura 3. Esquema de las alternativas.



Nota:

Montacarga 1: Montacargas de recibo de planta  
 Montacarga 2: Montacarga De Almacenamiento

Fuente: elaboración propia.



## Marco teórico

En las organizaciones, la relación entre los procesos es compleja, dados aspectos como información, materiales, tiempos y otras características que exigen una uniformidad entre las áreas.

La dinámica de sistemas como herramienta de construcción de modelos de simulación ayuda a entender la lógica interna de los procesos y la relación estructural de los mismos, esta herramienta ayuda a simular un comportamiento del sistema de la empresa P&P y su actuación a través del tiempo teniendo en cuenta recursos, equipos o herramientas.

Una restricción se reconoce cuando las capacidades de los recursos utilizados en una planta de producción son menores que cualquiera de las necesidades impuestas por los clientes. Como relación entre la planta de producción y el CEDI de la empresa P&P, resultan ser una restricción el tiempo utilizado entre los equipos de transporte AGV, ASRS y los montacargas.

Otra de las herramientas utilizada es el diagrama causal como temática de la dinámica de sistemas que ayuda a ilustrar el comportamiento de los procesos de producción y logística, sirviendo de guía para la elaboración y comprensión del modelo bajo un mapa mental de la organización en el que se describen las correlaciones del comportamiento de las variables inmersas en el proceso.

En síntesis, temáticas como dinámica de sistemas, diagramas causales y la identificación de las restricciones son elementos utilizados para la descripción, estructuración y entendimiento de los problemas con miras a su solución.

## Costos de operación con las alternativas planteadas

Teniendo en cuenta las opciones a utilizar en la operación del CEDI y en la planta de producción, se realiza un coste directo con las posibles opciones a utilizar, tal como se mostró en la tabla 1.

### Objetivos

#### *Objetivo general*

Desarrollar un modelo de simulación que permita replicar la situación actual de los procedimientos y la automatización de las áreas de producción para una nueva *planta de P&P proyectada para el año 2020*.

#### *Objetivos específicos*

- Simular las condiciones de operación del proceso en tiempo real para elegir las variables y recursos que intervienen en el mismo.

- Realizar representaciones de todos los procesos involucrados y examinar cuáles de ellos son los más indicados para su automatización.
- Construir y controlar los procesos elegidos para la automatización con el fin de parametrizar aquellos de mayor interés, ayudando a mitigar el impacto de la mejor manera posible.
- Realizar el coste de las diferentes alternativas de equipos: Montacargas/Montacargas, Montacargas/ASRS, AGV/Montacargas, y AGV/ASRS.

## Datos de la simulación

Para recopilar los datos necesarios en la simulación, se requirió del apoyo e información de la empresa P&P, costos, datos de *picking*, tipos de montacargas que desean evaluar, AGVs, y/o ARSRs y paros de producción. Por esto la utilización del diagrama causal es una herramienta de enseñanza usada para entender las relaciones causa-efecto de las variables de estudio. Una relación causal entre dos o más nodos (eventos o condiciones) supone una interpretación histórica, según la cual la ocurrencia de uno provocó, posibilitó u obstaculizó el desarrollo de otro (Montanero, *et. al.*, 2008).

Las variables de estudio que se deben considerar para hacer el modelo de simulación son: la cantidad de zapatos terminados que se producen de la planta de P&P, la disponibilidad del tiempo de los montacargas y la eficiencia que tiene el almacén de producto terminado para atender los requerimientos de la planta. Para el presente informe se usa el diagrama causal con el fin de comprender la relación entre las variables mencionadas, tal como se observó en la figura 1.

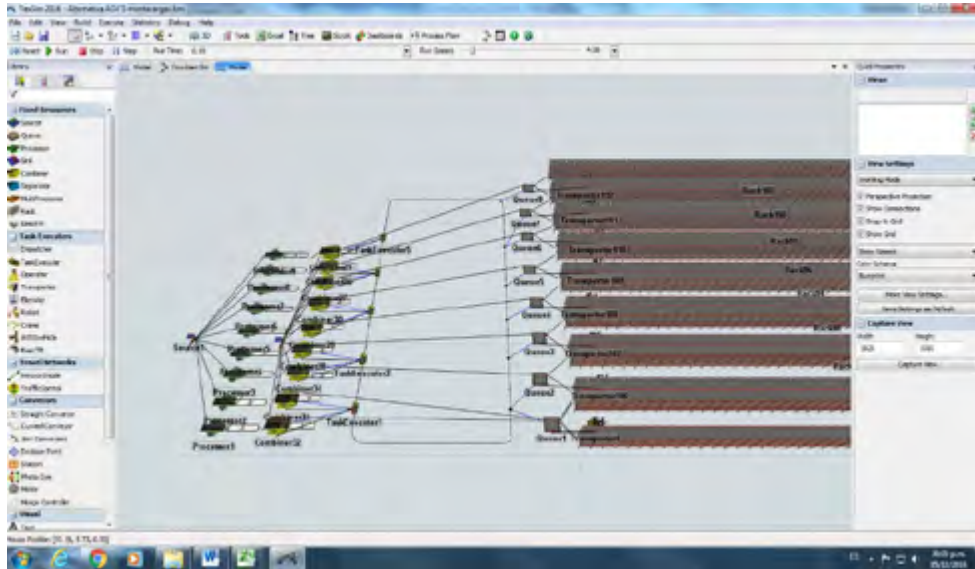
El desarrollo del modelo de simulación se da con base en el diagrama causal. Dentro de la problemática se tienen los siguientes puntos clave para su estudio:

- Demanda.
- Inventario.
- Simulación del proceso de almacenamiento.
- Disponibilidad de equipos de transporte interno en el almacén.
- Turnos de trabajo.
- Tiempos de paro.
- Lógica de movimientos y transporte de cajas.

## Análisis de simulaciones

Una vez se realiza la simulación de la planta y el CEDI (ver figura 4) se tienen las siguientes opciones:

Figura 4. Diseño para simulación FlexSim.

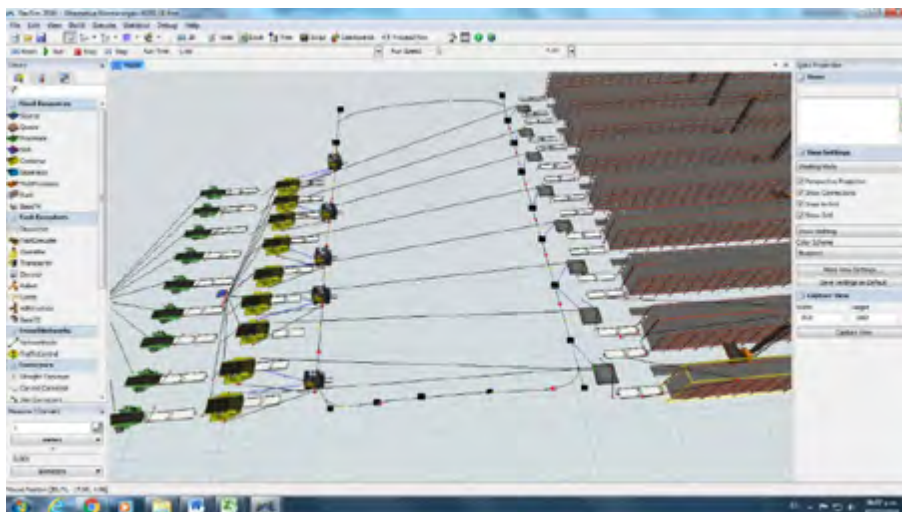


Fuente: elaboración propia, imagen del simulador logístico.

## Montacarga/ASRS

Entre las opciones que se tienen en cuenta para el análisis de un proceso que ejecute las actividades sin presentar cuellos de botella, paros, incremento de costos, y tiempos de entrega largos, se tienen las herramientas montacarga y ASRS; la primera se utiliza para transportar el producto terminado desde el final de la línea de producción hasta el almacenamiento temporal del CEDI, para luego por medio de la ASRS ubicarlo en la estantería de la bodega (ver figura 5).

Figura 5. Diseño para simulación FlexSim – Montacarga/ASRS.



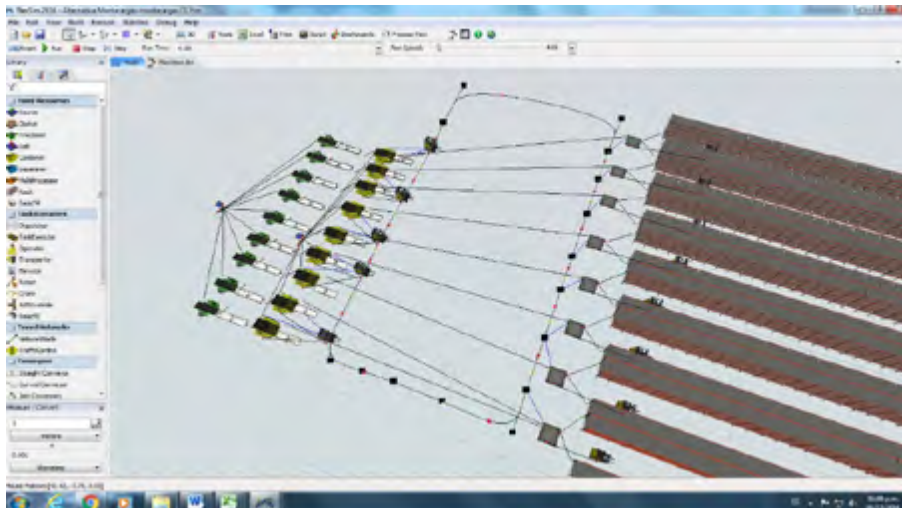
Fuente: elaboración propia, imagen del simulador logístico.

## Montacargas/montacargas

Otra de las opciones es utilizar la Montacargas en ambas actividades, es decir, al momento de transportar la mercancía desde el final de la línea de producción hasta el almacenamiento temporal del CEDI, para luego utilizar otro montacargas al almacenar la mercancía en la estantería (ver figura 6).

El número de pedidos que llegan diariamente (CEDI) es calculado con base en la tasa promedio de entrega de producción (*pallets/hora*), información suministrada de la empresa (información por línea). Se debe tener en cuenta el tiempo de paradas programadas y no programadas informadas. Los paros programados y no programados en el día equivalen aproximadamente a 60 minutos por mantenimiento al inicio de cada turno por día (tipo de zapatos informales y sandalias), y 22 minutos aproximadamente de paradas no programadas con base al máximo de paradas, según la información suministrada por la planta.

Figura 6. Diseño para simulación FlexSim – Montacarga/Montacarga.



Fuente: elaboración propia, imagen del simulador logístico.

## Atención del CEDI a las líneas de producción

La tabla 2 es la recopilación del flujo de producto desde la planta de producción al almacén, dicha información está por producto, como se muestra a continuación:

Tabla 2. Flujos de producto.

Producción entregada			Paros					
Pallets promedio entregadas de producción	Tasa prod/pallets/hr	Pallets/turno	Pallets/día	Miniparo prog/día	Miniparo no prog/día	Paros de cambio de turno (montac)	Min total/tiempo de paro día	Capacidad min/turno (restando paros)
Informales	18	144	432	60	10		70	
Tacones	1,2	9,6	28,8					
Aire libre	1,2	9,6	28,8					
Correr	6	48	144					
Sandalias	14,4	115,2	345,6	60			60	
Niños	6	48	144		12		12	
Descanso	0,84	6,72	20,16					
Seguridad industrial	0,96	7,68	23,04					
Botas lluvia	0,6	4,8	14,4					
Totales	49,2	393,6	1180,8	120	22	30	172	
<b>Pallets/min</b>	0,82							
Min día	1440							1268
<i>Pallets entregados día</i>			1039,8					

Fuente: elaboración propia.

## Alternativa Montacargas/Montacargas y Montacargas/ASRS

Para el presente estudio, el propósito es conocer el nivel de servicio del almacén a la planta de producción, para esto se validó la información estadística de la entrega de producción, del tiempo ocupado de los transportadores, del tiempo ocioso de los transportadores, todo según la alternativa a estudiar en cada caso y enfocados en la restricción del flujo.

En el análisis del flujo del proceso, lo más importante para determinar su velocidad es identificar la restricción del proceso. Calculando el recorrido por donde se desplazan los montacargas, espacio entre las bandas transportadoras de producción y las bandas para almacenamiento, los kilómetros son 167,6 mt. (dos recorridos a lo largo y dos a lo ancho).

El recorrido de los montacargas en el almacén es de 76.3 mt. un solo trayecto, para los dos trayectos (ida y vuelta) serían 152.6 mt.; para el cálculo de este informe tomaremos un promedio de 76.3 mt., dado que no siempre el recorrido es igual. Se tiene en cuenta para el análisis toda la información de cada uno de los equipos.

## Información flujo de producto

Según la información calculada (ver tabla 3), el nivel de servicio de los montacargas a la planta, de acuerdo al volumen de entrega y a la capacidad (velocidad) de los montacargas, para las opciones 1 y 2, el servicio sería de 82 %, lo que generaría un incumplimiento a la planta que no permite la empresa dado su alto costo de paro de la planta.

Tabla 3. Información flujo de producto.

Información de pallets	Pallets/ turno	Montac (5)/montac (8)	Montac (5)/asrs(8)	Agv (5)/ montac (8)	Agv (5)/ asrs(8)	Observación
		Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	
<b>Pallets entregados de producción / día</b>	1039,76					
Proceso recibo planta						
Recorrido desde produccion al almacén (mts.)	167,5					
Velocidad montacarga km/hr	10	1,005				Tiempo por pallet
Velocidad agv km/hr	13		1,005			Tiempo por pallet
Velocidad asrs km/hr	15			0,77308	0,77308	Tiempo por pallet
<b>Velocidad uñas montacarga mt/hr (tres veces)</b>	0,58	0,773	0,773			
<b>Velocidad uñas agv mt/hr (dos veces)</b>	0,4			0,533	0,533	
Proceso almacenamiento						

Continúa en la página siguiente



Continúa en la página anterior

Información de pallets	Pallets/ turno	Montac (5)/montac (8)	Montac (5)/asrs(8)	Agv (5)/ montac (8)	Agv (5)/ asrs(8)	Observación
		Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	
(Distancia desde zona de recepción al almacén 96,3 x2 (ida y vuelta), tomaremos el promedio, ya que los recorridos pueden ser diferentes)	76,3					
Velocidad montacarga km/hr	10	0,4578				
Velocidad agv km/hr	13		0,4578			
Velocidad asrs km/hr	15			0,3052	0,3052	
Velocidad uñas montacarga mt/hr (tres veces)	0,58	0,58	0,58			
Velocidad uñas agv mt/hr (dos veces)	0,4			0,267		
Velocidad uñas asrs mt/hr (dos veces)	1				0,25	
<b>Total minutos /pallet</b>		2,81613	2,81613	1,87828	1,86161	
<b>Pallets transportados al</b>						
Almacén/montacarga		170	170	256	258	
Capacidad total (5 montacargas o agv)		852	852	1278	1289	
% Cumplimiento a planta		82 %	82 %	123 %	124 %	

Fuente: elaboración propia.

Dentro del planteamiento la empresa P&P requería un cumplimiento del 95 %, el cual no se cumple con las dos primeras opciones.

La simulación de eventos discretos ha sido ampliamente usada en diferentes entornos (Vargas y Giraldo, 2014), es por esto que el simulador permite evaluar las siguientes opciones 3 y 4, AGV/Montacargas y AGV/ASRS, que cumplen con la respuesta a la planta, incluso quedando con exceso de capacidad. Para verificar la diferencia entre ambos, los costos son una variable de decisión significativa; para la opción 3 AGV/Montacargas, el costo es de \$ 78.632 y para la opción 4, AGV/ASRS, el costo es de \$ 32.082; pero el costo por paro es mucho más alto para la opción 3, que es de \$ 914.946 y para la opción 4 el costo por paro es de \$ 384.316, dado el menor tiempo de proceso y la mayor seguridad ofrecida (ver tabla 4).



Tabla 4. Comparativo de costos por paro de los equipos.

	Costos			
	Montacarga (40)	Montacarga (5)	Montacarga (5)	Asrs- agv
	Operarios	Asrs	Agv	13 Vehículos
Total costo/mes	101.339	51.416	78.632	32.082
Costos paro/minuto	35	18	27	11
Paradas programadas 60 min/día	2.111	1.071	1.638	668
Paradas no programadas 22 min/día	46.447	23.566	36.040	14.704
Costo paros día	48.558	24.637	37.678	15.373
<b>Costos total por paro mes</b>	<b>1.213.957</b>	<b>615.921</b>	<b>941.946</b>	<b>384.316</b>

Fuente: elaboración propia.

El simulador FlexSim ofrece opciones de información de manera variada como lo son gráficos y datos de las variables que se quieran medir, para el presente informe se tomaron las figuras 7,8 y 9.

52

Total, salida de los transportadores al almacén, con este dato se pueden comparar los datos teóricos de la salida de la planta, las cuales están resumidas anteriormente (ver figura 7).

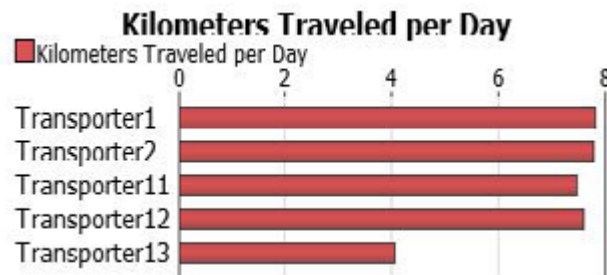
Figura 7. Salida de pallets.

	Output
Transporter1	35.0
Transporter2	35.0
Transporter11	34.0
Transporter12	34.0
Transporter13	18.0

Fuente: elaboración propia, imagen del análisis del simulador logístico.

También es posible analizar los kilómetros por día de los equipos, tal como lo muestra la figura 8.

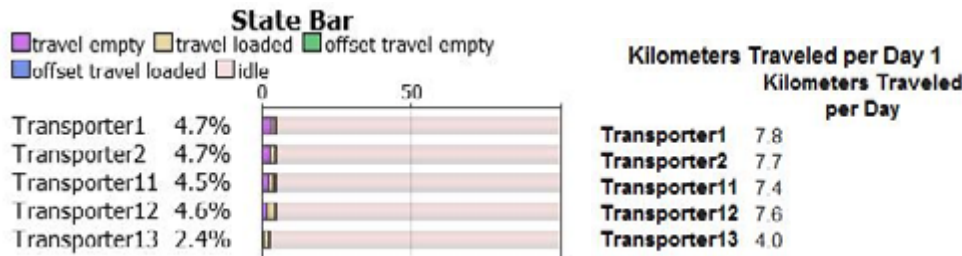
Figura 8. Kilómetros/día de los montacargas.



Fuente: elaboración propia imagen del análisis del simulador logístico.

Los informes estadísticos también ofrecen la información de la capacidad ociosa y la capacidad ocupada de los equipos, transportadores y demás recursos que se requieran. La figura 9 muestra la forma como el simulador presenta el estado en un gráfico de barras.

Figura 9. Kilómetros de viaje realizados por día.



Fuente: elaboración propia imagen del análisis del simulador logístico.

## Conclusiones

Para analizar la realidad de las empresas, el análisis causal proporciona ver claramente las conexiones entre las variables de estudio, los posibles efectos y los incrementos o decrecimientos de los resultados que se quieren observar; en este informe la empresa P&P puede validar las relaciones causa-efecto del proceso de recepción y almacenamiento de productos terminados, además de observar con claridad qué variables se pueden intervenir para mejorar la realidad.

Entre los equipos analizados, se encontró que los automáticos, como los AGV y ASRS, están generando mejores resultados en cuanto a los tiempos de respuesta a la planta y a los costos de operación. Los softwares de simulación proporcionan una versátil manera de analizar diferentes alternativas sin implementar en la realidad y así poder calcular los posibles comportamientos de acuerdo a la meta de las empresas. Esta realidad simulada hace posible identificar, explotar las restricciones y así mejorar la generación de dinero, la cual es la meta de las empresas.

Entre las mejores opciones de las cuatro planteadas en cuanto a la variable costo se encuentra la ASRS/AGV, con un costo fijo de \$ 32.632, menor que las otras opciones, dado que los mantenimientos, operaciones y otros costos fijos también son menores. El costo por paro mes es menor en la opción ASRS /AGV, con un valor de \$ 390.316/mes, dado que las paradas no programadas son de \$ 14.704/día y las paradas programadas son de \$ 668/día, para un costo mes de \$ 384.316, siendo la opción más económica de las demás opciones.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran la inexistencia de conflicto de interés con institución o asociación comercial de cualquier índole. Asimismo, la Universidad Católica Luis Amigó no se hace responsable por el manejo de los derechos de autor que los autores hagan en sus artículos, por tanto, la veracidad y completitud de las citas y referencias son responsabilidad de los autores.

## Referencias

FlexSim. (2016). Manual Usuario. FlexSim. Recuperado de <https://answers.flexsim.com/storage/attachments/6788-flexsim-1710-manual-arial.pdf>

54

Gómez R. A. y Correa A. A. (2011). Mejoramiento de la recepción en una empresa de colchones utilizando simulación y diseño de experimentos. *Revista Lasallista de Investigación*, 8(1), 68-81. Recuperado de <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/rldi/article/view/75>.

Montanero, M., Lucero, M., Méndez, J. M. (2008). Enseñanza de contenidos históricos mediante diagramas multicausales. *Revista Española de Pedagogía*, (239), 27-48. Recuperado de <http://redined.meecd.gob.es/xmlui/bitstream/handle/11162/79026/239-02.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Prácticas de sistemas de fabricación. (2012). *Simulación de un proceso industrial mediante el software de FlexSim*. Recuperado de [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20587/1/Simulacion\\_de\\_un\\_proceso\\_industrial\\_mediante\\_FlexSim.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20587/1/Simulacion_de_un_proceso_industrial_mediante_FlexSim.pdf).

Vargas, J. y Giraldo, J. (2014). Modelo de predicción de costos en servicios de salud soportado en simulación discreta. *Información Tecnológica*, 25(4), 175-184. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642014000400019>.

Tutorial FlexSim. (s.f.). *Tutorial FlexSim*. Recuperado de [https://profearias.files.wordpress.com/2013/02/tutorial\\_flexsimsp.pdf](https://profearias.files.wordpress.com/2013/02/tutorial_flexsimsp.pdf).