

# **DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA UNA CADENA DE SUMINISTRO INTEGRANDO EL PENSAMIENTO ESBELTO Y MEDIOAMBIENTAL CON ESCENARIOS DE SIMULACIÓN**

*DESIGN OF A METHODOLOGY FOR A SUPPLY CHAIN INTEGRATING SLENDER AND ENVIRONMENTAL THINKING WITH SIMULATION SCENARIOS*

***Julieta Fernández Soto***

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México  
*11980114@itcelaya.edu.mx*

***José Alfredo Jiménez García***

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México  
*alfredo.jumenez@itcelaya.edu.mx*

***Salvador Hernández González***

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México  
*salvador.hernández@itcelaya.edu.mx*

***Vicente Figueroa Fernández.***

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México  
*vicente.figueroa@itcelaya.edu.mx*

**Recepción:** 23/noviembre/2019

**Aceptación:** 8/octubre/2020

## **Resumen**

El actual trabajo presenta el análisis de un sistema de producción de panes con la finalidad de mostrar cómo reducir recurso en la cadena de suministro por medio de una metodología elaborada combinando el pensamiento esbelto con el pensamiento medio ambiental y escenarios de simulación con el software ProModel. Se presenta un modelo de simulación preliminar siguiendo la metodología propuesta y a partir de este se crean nuevos escenarios donde se cambian las tres variables de respuesta, CO<sub>2</sub>, Producción y % de inactividad de los camiones. El objetivo es minimizar el CO<sub>2</sub> y el % de inactividad de los camiones y maximizar la producción. Así mismo los diferentes escenarios permitieron obtener métricas para comparar el desempeño de cada una de las variables y presentar un análisis sobre las mismas.

**Palabras Clave:** cadena de suministro, escenarios de simulación, pensamiento esbelto, pensamiento medioambiental, software ProModel.

## **Abstract**

*The current work presents the analysis of a bread production system in order to show how to reduce resources in the supply chain through a methodology developed combining lean manufacturing with environmental thinking and simulation scenarios with ProModel software.*

*A preliminary simulation model is presented following the proposed methodology and from this new scenarios are created where the three response variables, CO<sub>2</sub>, Production and % of truck inactivity are changed. The goal is to minimize CO<sub>2</sub> and % truck idle and maximize production. Likewise, the different scenarios allowed metrics to compare the performance of each of the variables and to present an analysis on them.*

**Keywords:** *environmental thinking, lean thinking, simulation scenarios, supply chain, ProModel software.*

## **1. Introducción**

El termino manufactura esbelta (lean) fue introducido en 1990 en occidente con la publicación del libro la “Máquina que cambio al mundo” del Dr. James P: Womack [Womack et al., 1990]. Este libro se basó en el estudio de cinco años del sistema de producción Toyota realizado por el MIT en un programa denominado “Programa Internacional de Vehículos de Motor”. En el libro se mostraba como los proveedores, los trabajadores de línea y la administración podían trabajar en conjunto en las plantas de manufactura para mejorar su eficiencia operacional. Todo esto con mejoras de calidad, entregas a tiempo, reducción de costos, velocidad de entrega, tiempos de ciclo, incremento de la productividad por empleado, así como la mejora de la capacidad de la planta sin incrementar el personal. Así impactando positivamente los resultados financieros [Cooper, R. & Maskell, B., 2008].

El pensamiento esbelto requiere de nuevos hábitos y habilidades ya que busca siempre la mejora continua y el mejoramiento del desempeño operacional

[Toussaint, J.S. & Berry, L.L., 2013]. Por otra parte, [Murugesan, 2012] y [Vinodh, S. & Joy, D., 2012] indican que el logro de una mayor eficiencia operacional lograda mediante la manufactura esbelta tiene una influencia significativamente positiva y directa en el logro de ventajas competitivas del negocio. Estas son calidad a la primera intención, reducción de tiempos de entrega e incremento de la productividad [Ghosh, 2013].

En el caso de la manufactura sustentable según estudios de [Murugesan, 2012] muestran que pueden ayudar a las organizaciones a lograr mejor desempeño operacional y ambiental. Esto impactando positivamente los resultados financieros, la huella de carbono, una cultura de sustentabilidad en las organizaciones, así como la satisfacción de los empleados. Este tema es muy importante si se considera que la manufactura a nivel global consume grandes cantidades de recursos y genera grandes cantidades de desperdicios. Según [Millar & Rusell 2011] la manufactura a nivel mundial consume un tercio de la energía mundial y genera el 36% del total de CO<sub>2</sub> principal gas de efecto invernadero. [Irastorza & Fernández 2010] indican que la industria generadora de energía contribuye en un 21% y la manufacturera en un 8% en la emisión de este gas. Por lo tanto, es fundamental que las plantas de manufactura adopten prácticas sustentables.

La cadena de suministro es una pieza clave para la integración de la manufactura esbelta y la manufactura sustentable, denominándosele cadena de suministro verde. La cadena de suministro es un subsistema que se encuentra ubicado dentro del sistema organizacional de las empresas. Este abarca la planificación de todas las actividades que se involucran en la búsqueda, obtención y transformación de los productos. Además, involucra las actividades de los proveedores o intermediarios, funcionarios y clientes. La cadena de suministro integra la oferta y la demanda dentro y fuera de la empresa [Moreno, 2012].

Una de las principales características de la cadena de suministro es abastecer y regular las operaciones de las distintas áreas de la empresa. Estas son la fabricación, distribución, marketing, ventas, diseño de productos, finanzas y tecnología [Chopra & Meindl, 2008]. Las actividades principales de la cadena de suministro suelen realizar transformaciones de los recursos naturales [Martínez, P.

& Moyano, 2014]. La planeación presenta una estrecha relación con las decisiones estratégicas, las cuales deben influir en la sostenibilidad. El diseño de redes logísticas y productos sostenibles deben integrarse al mismo nivel con el objetivo de anticipar el desempeño futuro de la cadena de suministro [Chaabane, A., 2011]. La logística inversa es una parte de la cadena de suministro que se define como el proceso de cierre de esta [Savaskan, R. C., 2004].

Una de las técnicas para realizar estudios piloto con resultados rápidos y a un relativo bajo costo se basa en la modelación, la cual se conoce también como simulación. Esta se refiere a un conjunto de métodos y aplicaciones que buscan imitar el comportamiento de sistemas reales, esto con la ayuda de un software [García Dunna, E., 2013]. La simulación es una herramienta multidisciplinar que puede ser de tipo discreto o continuo. La simulación discreta es una herramienta compuesta de relaciones matemáticas, probabilísticas y estadísticas. Estas sirven para analizar las causas de los cambios de un evento a otro en un sistema. Esto por medio de distribuciones de probabilidad y condiciones lógicas [Trujillo, J. & Cubillo, G., 2016].

El modelo resultante de este trabajo puede ser empleado como guía para diversas plantas. Esto con el fin de orientar acciones de mejora en la eficiencia operacional y la responsabilidad medioambiental de manera combinada en sus cadenas de suministro. Integrando el pensamiento esbelto con el medioambiental. En donde la integración de ambas formaría una cadena de suministro lean-green mejorando así sus procesos y reduciendo el impacto ambiental.

## **2. Métodos**

Se propone un modelo de cadena de suministro de una microempresa de pan mediante simulación con ayuda del software ProModel, aplicando herramientas de la manufactura esbelta con un enfoque medioambiental. Con esto se busca reducir los desperdicios de la cadena de suministro, así como medir el índice de CO<sub>2</sub> que emiten los transportes involucrados en la cadena de suministro.

En la cadena propuesta se consideran tres proveedores principales que surten a la fábrica de pan y dos clientes de esta. De acuerdo con la tabla 1 la cadena de

suministro está dada de la siguiente manera: La harina proviene del proveedor 1, la leche proviene del proveedor 2, el huevo viene del proveedor 3 y se dirigen a la fábrica de pan. Una vez que las materias primas están en la fábrica de pan se procesan y el producto que sale es pan, este se dirige hacia 2 destinos, el supermercado con una probabilidad del 60% y la tienda con una probabilidad del 40%.

Tabla 1 Descripción de la cadena de suministro.

Descripción	Lugar de emisión	Producto	Destino
A	Proveedor 1	Harina	Fábrica de pan
B	Proveedor 2	Leche	Fábrica de pan
C	Proveedor 3	Huevo	Fábrica de pan
D	Fábrica de pan	Pan	Supermercado
E	Fábrica de pan	Pan	Tienda

La figura 1 muestra los flujos de la cadena de suministro, así como los materiales que entran y salen de cada uno de los lugares, además de las distancias recorridas por los transportes.

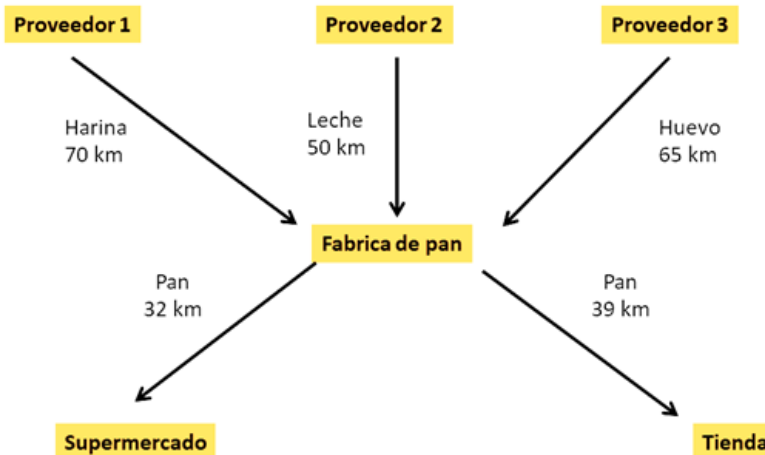


Figura 1 Entradas y salidas de la cadena de suministro.

En esta sección se propondrá una metodología para la construcción de modelos de simulación de cadenas de suministro para medir el desempeño productivo y ambiental. Dicha metodología se aplicará a la cadena propuesta anteriormente, sin embargo, es aplicable para cualquier cadena de suministro sin importar su tamaño.

La simulación de la cadena de suministro solo incluye el transporte de los diversos proveedores con el fin de llegar a un producto final, en este caso “pan”. La simulación de la cadena de suministro es pequeña debido a las limitantes de entidades que presenta la versión del programa utilizado.

La serie de 10 pasos a seguir para la metodología de la cadena de suministro, son:

- **Identificación de las empresas involucradas y recopilación de datos.** Se ubican las empresas proveedoras de los diversos productos y los establecimientos donde se reparten, identificados como proveedor 1, 2, 3, fábrica de pan, tienda y supermercado. Se toma la información de cada uno de los establecimientos, como es la cantidad de producto que se transporta, la frecuencia, y los tiempos de traslado. Así mismo se identifican los puntos donde se encuentran cada uno de los lugares y se calcula su distancia de recorrido.
- **Identificación del flujo de los productos involucrados.** Cada una de las partes de la cadena de suministro se identifican y se clasifican como proveedores y clientes, se identifica la ruta de distribución de ambos elaborando un mapa de flujo.
- **Definición de la ubicación y determinación de las distancias entre proveedores.** Se utiliza el mapa para identificar los lugares donde se ubican los establecimientos y para calcular las distancias entre cada uno de los lugares de la cadena de suministro. En este caso se propusieron las distancias, así como la localización de cada uno de los distintos lugares.
- **Identificación de las locaciones y entidades que se moverán en la cadena de suministro.** El ejemplo propuesto cuenta con seis entidades que se mueven en diversos puntos de la cadena de suministro mediante 6 establecimientos propuestos. Estas son harina, leche, huevo, lote, mezcla y pan. Las locaciones propuestas son proveedor 1, proveedor 2, proveedor 3, fábrica de pan, tienda y supermercado.
- **Identificación de los arribos.** Se establecen todas las llegadas de material o producto a los diversos puntos de la cadena de suministro. Estas se especifican en la figura 2.

Entity...	Location...	Qty Each...	First Time...	Occurrences	Frequency	Logic...	Disable
Harina	Proveedor_1	1	0	inf	20		No
Leche	Proveedor_2	1	0	inf	10		No
Huevo	Proveedor_3	1	0	inf	10		No

Figura 2 Descripción de los arribos del modelo propuesto.

- Definición de las redes.** Se definen las redes que representan la carretera donde se mueven los vehículos y las distancias de cada una de estas. En este caso se construyeron 2 redes, la primera involucra los 3 proveedores hacia la fábrica de pan donde las distancias establecidas son de 70, 50 y 65 km respectivamente. La segunda red marca las distancias de la fábrica de pan hacia el supermercado y la tienda. En esta las distancias son de 32 y 39 km respectivamente. La figura 3 muestra la descripción grafica de las redes de la cadena de suministro propuesta. Las líneas azules son las redes que conectan a cada uno de los establecimientos.

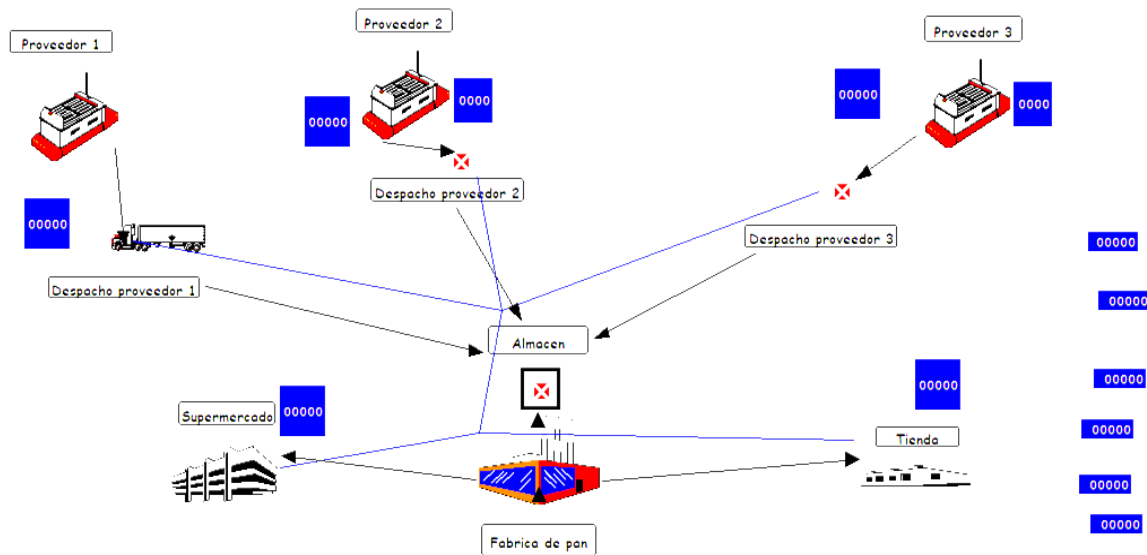


Figura 3 Descripción de las redes de la cadena de suministro propuesta.

- Definición de recursos.** Se definió 1 recurso el cual abarca toda la de la cadena de suministro, empezando por la red de los proveedores hacia la fábrica de pan y terminando en la red de la fábrica de pan hacia el supermercado y la tienda. Parte de la experimentación consiste en evaluar el

número de camiones requeridos. Se debe especificar a través de qué red se mueven y la velocidad que llevan. En el modelo propuesto las velocidades que se manejan son de 100 km/h cuando el camión se encuentra vacío y de 90 km/h cuando lleva carga.

- **Verificación del modelo.** Se llevó a cabo una inspección visual del funcionamiento del modelo haciendo una prueba. Se debe asegurar que los movimientos del camión tengan una secuencia lógica, que los camiones con material lleguen a su destino para realizar la entrega en los lugares que le corresponden y cerciorarse que los camiones recojan los productos de cada empresa en los puntos de recolección y entregarlos a la empresa a la que suministra.
- **Validación de modelo.** Hay diferentes maneras de validar un modelo, lo más recomendable es comparar las estadísticas de los datos reales con las estadísticas de los resultados del modelo de simulación. Sin embargo, en este ejemplo, la prueba se omite por el momento dado que es un ejemplo ilustrativo. En la validación del modelo se vio que en la segunda red donde está involucrada la fábrica de pan con el supermercado y la tienda no era suficiente con un recurso y se agregó uno más.
- **Experimentación.** Se lleva a cabo la aplicación de la metodología de diseño experimental propuesto donde las variables son: el tamaño de los lotes a transportar, el número de camiones a utilizar y la variabilidad; Con respecto a los lotes, se definieron tamaños de 50, 100 y 200 piezas. Para resolver el problema de los grados de libertad del error, se proponen tres réplicas por ejecución. Las variables de respuesta son: los índices de contaminación de CO<sub>2</sub>, el nivel de rendimiento de los camiones y los niveles de inventario en cada empresa.

Para determinar las emisiones de CO<sub>2</sub>, se consideró una guía práctica para cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Versión de marzo de 2011, propuesta por la Comisión Interdepartamental de Cambio Climático [GEI, 2011]. Del enlace de [www.ecovehículos.gob.mx](http://www.ecovehículos.gob.mx), se obtiene la información para el cálculo de



la variable CO<sub>2</sub>, donde dice que hay una emisión de CO<sub>2</sub> de 270 g/km. De acuerdo con lo anterior, la variable CO<sub>2</sub> se puede calcular mediante la ecuación 1.

$$CO_2 = \frac{[(270 * DIST\ TOTAL) * 2]}{1000} \quad (1)$$

Donde:

*CO<sub>2</sub>*: Total de CO<sub>2</sub> emitido al medio ambiente.

*DIST TOTAL*: Distancia total recorrida.

La razón para multiplicar por 2 el producto de *DIST TOTAL* y 270, es considerar cuándo los vehículos regresan vacíos. La división entre 1000 se debe a que el resultado final de CO<sub>2</sub> se expresará en kilogramos en lugar de gramos.

### 3. Resultados

El modelo se construyó de acuerdo con los pasos sugeridos en la metodología, se corrieron 27 réplicas del modelo propuesto. En el modelo, se incluyeron los diferentes factores, como el tamaño del lote de 50, 100 y 200 piezas de pan, además del número de camiones. De acuerdo con lo anterior, se obtuvieron los datos para el diseño factorial mostrado en la tabla 2.

Tabla 2 Datos para el diseño factorial.

A (Camiones)	B (Lote)	CO <sub>2</sub> (kg/km)	Producción (# de lotes)	Inactividad Camión (%)
1	1	896400	6	59.22
1	2	572400	6	78.93
1	3	231120	4	88.86
2	1	1231740	7	79.04
2	2	549180	6	88.68
2	3	234900	4	94.58
3	1	1263520	7	86.18
3	2	576180	6	92.75
3	3	213840	4	96.69

En el diseño de experimentos se definieron dos factores, factor A (No. de camiones) y factor B (tamaño de lote). Para el factor A, se definieron 3 niveles, el nivel 1 indica que se usa un solo camión, el nivel 2 indica que se usaron 2 camiones y el nivel 3

indica que se usaron 3 camiones. En el caso del factor B, el nivel 1 indica que el producto se transporta en lotes de 50, el nivel 2 indica que el lote es de 100 piezas y finalmente, el nivel 3 indica que el lote se mueve en lotes de 200 piezas. Por otra parte, para medir el desempeño de la cadena de suministro, se definieron tres variables de respuesta, CO<sub>2</sub>, Producción y % de inactividad de los camiones. El objetivo es minimizar el CO<sub>2</sub> y el % de inactividad de los camiones y maximizar la producción. Con estas condiciones se tiene un diseño factorial completo 3X3, con una réplica, por lo que se tienen 9 corridas experimentales, las cuales se ejecutaron en el modelo de simulación que representa un sistema de una pequeña cadena de suministro para producir pan. Para este propósito, se utilizó el software ProModel y los resultados se muestran en la tabla 2.

Una vez que se obtuvieron los resultados de las corridas experimentales, se realizó el análisis estadístico utilizando el software Minitab17. Los resultados se muestran a continuación. En primer lugar, se muestra el análisis de varianza (ANOVA) de la variable de respuesta CO<sub>2</sub>, donde el primer factor es el número de camiones (A) y el segundo es el número de lote (B), tabla 3.

Tabla 3 Tabla de análisis de varianza de CO<sub>2</sub> vs Camiones (A), Lote B).

Fuente de Variación	DF (Grados de libertad)	Adj SS (Suma de cuadrados)	Adj MS (Suma de medias)	F-Valor	P-Valor
Modelo	4	1.27617E+12	3.19043E+11	21.89	0.006
Lineal	4	1.27617E+12	3.19043E+11	21.89	0.006
Camiones(A)	2	25140301422	12570150711	0.86	0.488
Lote(B)	2	1.25103E+12	6.25515E+11	42.93	0.002
Error	4	58285980444	14571495111		
Total	8	1.33446E+12			
<b>Resumen del Modelo</b>					
<b>S (Desviación)</b>	<b>R-sg (R cuadrada)</b>	<b>R-sg (adj) (R cuadrada ajustada)</b>	<b>R-sg (pred) (R cuadrada predicha)</b>		
120712	95.63%	91.26%	77.89%		

De acuerdo con el ANOVA, se puede observar que el factor tamaño de lote tiene un efecto significativo sobre la variable de respuesta, mientras que el número de camiones no resulto significativo. Esto se puede apreciar en el ANOVA al observar la columna P-valor, donde el factor Lote (B), tiene un P-valor de 0.02, el cual es menor a 0.05. En cuanto al coeficiente de determinación, se obtuvo un valor de

95.63%, lo cual indica que el modelo obtenido, explica el 95.63% de la variabilidad, obteniendo la ecuación 2 de regresión, tabla 3.

$$CO_2 = 641031 - 74391Camiones(A)_1 + 30909Camiones(A)_2 + 43482Camiones(A)_3 + 489522Lote(B)_1 + 75111Lote(B)_2 + 414411Lote(B)_3 \quad (2)$$

Donde:

- $CO_2$ : Cantidad de  $CO_2$  emitido.  
 $Camiones (A)_1$ : Iteración de 1 camión.  
 $Camiones (A)_2$ : Iteración de 2 camión.  
 $Camiones (A)_3$ : Iteración de 3 camión.  
 $Lote (B)_1$ : Iteración con el lote 1.  
 $Lote (B)_2$ : Iteración con el lote 2.  
 $Lote (B)_3$ : Iteración con el lote 3.

Con relación a la variable de respuesta Producción, se tiene el siguiente ANOVA, donde los factores son el número de camiones (A) y el número de lote (B), tabla 4.

Tabla 4 Análisis de varianza de Producción VS Camiones (A), Lote (B).

Fuente de variación	DF (Grados de libertad)	Adj SS (Suma de cuadrados)	Adj Ms (Suma de medias)	F-Valor	P-Valor
<b>Modelo</b>	4	11.7778	2.9444	26.50	0.004
<b>Lineal</b>	4	11.7778	2.9444	26.50	0.004
<b>Camiones(A)</b>	2	0.2222	0.1111	1.00	0.444
<b>Lote(B)</b>	2	11.5556	5.7778	52.00	0.001
<b>Error</b>	4	0.4444	0.1111		
<b>Total</b>	8	12.2222			
<b>Resumen del Modelo</b>					
<b>S (Desviación)</b>	<b>R-sg (R cuadrada)</b>	<b>R-sq (adj) (R cuadrada ajustada)</b>	<b>R-sq(pred) (R cuadrada predicha)</b>		
0.333333	96.36%	92.73%	81.59%		

De acuerdo con lo observado en el ANOVA, se puede concluir que sólo el tamaño de lote afecta a la cantidad de producción, el cual tiene un P-valor de 0.001. Además, se puede observar un valor aceptable del coeficiente de determinación, el

cual indica que 96.35% de la variabilidad es explicada por el modelo, obteniendo ecuación 3 de regresión.

$$\begin{aligned} \text{Producción} = & 5.556 - 0.222\text{Camiones}(A)_1 + 0.111\text{Camiones}(A)_2 + \\ & 0.111\text{Camiones}(A)_3 + 1.111\text{Lote}(B)_1 + 0.444\text{Lote}(B)_2 - \quad (3) \\ & 1.556\text{Lote}(B)_3 \end{aligned}$$

Donde:

- Producción* : Producción total.  
*Camiones (A)<sub>1</sub>*: Iteración de 1 camión.  
*Camiones (A)<sub>2</sub>*: Iteración de 2 camión.  
*Camiones (A)<sub>3</sub>*: Iteración de 3 camión.  
*Lote (B)<sub>1</sub>*: Iteración con el lote 1.  
*Lote (B)<sub>2</sub>*: Iteración con el lote 2.  
*Lote (B)<sub>3</sub>*: Iteración con el lote 3.

Finalmente, se presenta el ANOVA para analizar el % de inactividad de los camiones, donde el primer factor es Camiones (A) y el segundo factor es Lote (B, tabla 5.

Tabla 5 Análisis de varianza % Inactividad de camión vs Camiones (A), Lote (B).

Fuente de variación	DF (Grados de libertad)	Adj SS (Suma de cuadrados)	Adj Ms (Suma de medias)	F-Valor	P-Valor
<b>Modelo</b>	4	952.0	238.01	9.22	0.027
<b>Lineal</b>	4	952.0	238.01	9.22	0.027
<b>Camiones(A)</b>	2	420.6	210.32	8.15	0.039
<b>Lote(B)</b>	2	531.4	265.69	10.29	0.026
<b>Error</b>	4	103.3	25.82		
<b>Total</b>	8	1055.3			
<b>Resumen Modelo</b>					
<b>S (Desviación)</b>	<b>R-sg (R cuadrada)</b>	<b>R-sg (adj) (R cuadrada ajustada)</b>	<b>R-sg (pred) (R cuadrada predicha)</b>		
5.08134	90.21%	80.43%	50.45%		

De acuerdo con el ANOVA, se puede observar que el % de inactividad de los camiones, se ve afectado por los dos factores, tanto por el factor número de

camiones, como por el factor tamaño de lote. Ambos factores tienen un P-valor menor a 0.05. Además, se puede observar que el 90.21% de la variabilidad es explicada por el modelo, obteniendo ecuación 4 de regresión.

$$WIP = 953 - 200Lote(B)_1 - 50Lote(B)_2 + 250Lote(B)_3 \quad (4)$$

Donde:

- WIP*: Trabajo en proceso (work in process).
- Lote (B)<sub>1</sub>*: Iteración con el lote 1.
- Lote (B)<sub>2</sub>*: Iteración con el lote 2.
- Lote (B)<sub>3</sub>*: Iteración con el lote 3.

De acuerdo con lo que se planteó inicialmente como objetivo, se pretende minimizar las variables de respuesta CO<sub>2</sub> y % de inactividad y maximizar la producción. Para este propósito, se utilizó el optimizador proporcionado por el software, como se muestra en la figura 4.

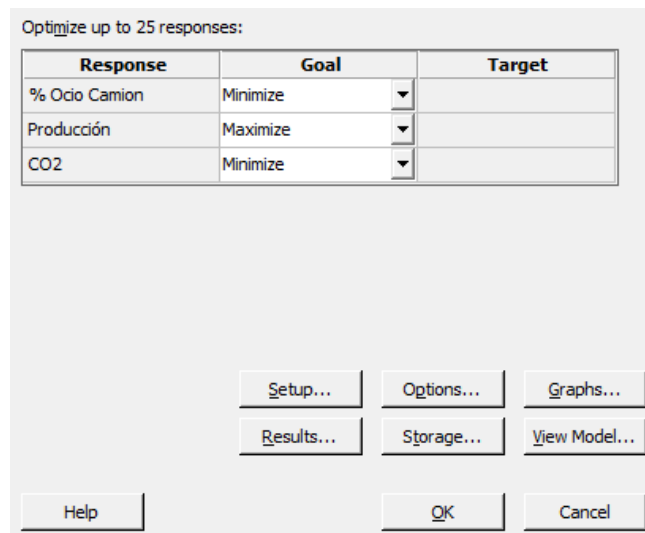


Figura 4 Optimizador del software.

De acuerdo con el análisis las condiciones ideales de operación se muestran en la figura 5. Ahí se indica que, para operar el sistema en condiciones óptimas, de manera que se cumplan simultáneamente los tres objetivos, se debe de fijar el factor 1 en el nivel 1, y el factor 2, en el nivel 2. Para fines de operación del sistema, esto

indica que se debe usar un solo camión y que los lotes deben de moverse en tamaños de 100 piezas.

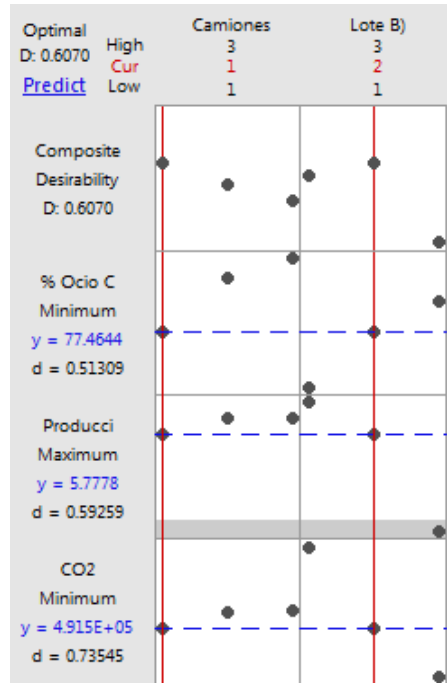


Figura 5 Ilustración de condiciones ideales del sistema.

De esta manera, se tendría un porcentaje de inactividad de 77.44%, una producción máxima cercana a 6 lotes de 100 piezas c/u, y 491500 gramos de CO<sub>2</sub> emitidos por el vehículo.

#### 4. Discusión

En este artículo se propuso una metodología para diseñar cadenas de suministro con un enfoque medioambiental bajo escenarios de simulación donde fue aplicada para una cadena de suministro de pan. Se definieron tres variables principales, el nivel de inventario, el % de inactividad de los camiones y finalmente la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida hacia el medio ambiente, basándose en el pensamiento esbelto. También se definieron dos factores importantes que deben considerarse en una cadena de suministro, como el número de camiones y el tamaño de lote que debe transportarse en cada envío de una empresa a otra.

Se encontró que el número de camiones tiene efectos en la emisión de CO<sub>2</sub> y se determinó el % de inactividad de los recursos para así determinar cuál es la cantidad necesaria. Se demostró que es posible establecer una metodología que se aplique al diseño de una cadena de suministro con un enfoque Lean-Green, que permita identificar los factores que pueden afectar las variables establecidas en la cadena de suministro.

## **5. Conclusiones**

Se realizó un diseño factorial completo 3X3 con una réplica, por lo que se tienen 9 corridas experimentales. Una vez que se obtuvieron los resultados de las corridas experimentales se realizó un análisis estadístico en Minitab 17.

En el diseño de experimentos se definieron dos factores, factor A (No. De camiones) con tres niveles (1 camión, 2 camiones y 3 camiones) y factor B (tamaño de lote) con 3 niveles (lote de 50, lote de 100 y lote de 200).

Por otra parte, se definieron tres variables de respuesta, CO<sub>2</sub>, Producción y % ocio de los camiones, esto con el objetivo de minimizar el CO<sub>2</sub> y el % de ocio de los camiones y maximizar la producción.

En primer lugar, se analizó la variable de respuesta CO<sub>2</sub> vs Camiones (A), Lote (B), donde se observó que el tamaño de lote tiene un efecto significativo de un 95.63%. Por otra parte, con relación a la variable de respuesta Producción, donde los factores son el número de camiones (A) y el número de lote (B) se puede concluir que solo el tamaño del lote afecta a la producción. Finalmente se analizó el % de inactividad de los camiones, donde el primer factor es Camiones (A) y el segundo factor es Lote (B), ahí se observa que el % de inactividad de los camiones se ve afectado por los dos factores.

Por otra parte, se utilizó un optimizador proporcionado por el software con el objetivo de minimizar la variable de respuesta CO<sub>2</sub> y el % de inactividad y maximizar la producción. Ahí se indica que, para operar el sistema en condiciones óptimas, de manera que se cumplan simultáneamente los tres objetivos, se debe de fijar el factor 1 en el nivel 1, y el factor 2, en el nivel 2. Para fines de operación del sistema, esto indica que se debe usar un solo camión y que los lotes deben de moverse en

tamaños de 100 piezas. De esta manera, se tendría un porcentaje de inactividad de 77.44%, una producción máxima cercana a 6 lotes de 100 piezas c/u, y 491500 gramos de CO<sub>2</sub> emitidos por el vehículo.

## **6. Bibliografía y Referencias**

- [1] Chaabane, A., (2011). Multi-criteria methods for designing and evaluating sustainable supply chains. Canada: Université du Québec.
- [2] Chopra, S., & Meindl, P. (2008). Administración de la cadena de suministro. Estrategia, planeación y operación . México DF: Pearson Educación de México. Prentice Hall.
- [3] Cooper, R. & Maskell, B. (2008). How to manage through worse-before better,. MIT Sloan Management Review, 49(4):58-65.
- [4] García Dunna, E., García Reyes, H., & Cárdenas Barrón, L. E. (2013). Simulación y análisis de sistemas con ProModel (2da. ed.): Pearson Educación de México. México DF
- [5] GEI (2011). Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica. España: [https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia\\_huella\\_carbono\\_tcm30-479093.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf)
- [6] Ghosh, M. (2013). Lean Manufacturing performance in indian manufacturing plants. Journal of Manufacturing Technology Management, 24(1): 113-122.
- [7] Irastorza Trejo, V., & Fernández Martínez, X. (2010). Balance nacional de energía y su relación con el inventario nacional de emisiones . Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía México. 1(1): 52-71.
- [8] Martínez Jurado P. J. & Moyano Fuentes, J. (2014). Lean Management, Supply Chain Management and Sustainability. Journal of Cleaner Production, 85:134-150.
- [9] Moreno, K. (2012). Analisis de la relacion entre estrategias de gestión logística humanitaria y el tiempo de respuesta en la atención de desastres,por



medio de la metodología integral y dinámica. Bogotá: Tesis. Universidad de La Sabana. Colombia.

- [10] Millar, H., & Rusell, S. (2011). The adoption of sustainable manufacturing practices in the Caribbean. *Business Strategy and the Environment*, 20: 512-526.
- [11] Murugesan, T.K., Senthil Kumar, B., & Saravana Kumar, M. (2012). Comparative advantage of world class manufacturing system (WCMS)-A study of manufacturing companies in south India. *European Journal of Social Sciences*, 29(2):295-311.
- [12] Savaskan, R. C., Bhattachary, S. & Van Wassenhove, L. N. (2004). Closed-Loop Supply Chain Models with Product Remanufacturing. *Management Science*, 50(2):239-252.
- [13] Toussaint J.S. & Berry L.L. (2013). The Promise of Lean in health care. *Mayo clinic proceedings*, 88(1):74-82.
- [14] Trujillo Diaz J. & Cubillos Gonzalez R.A. (2016). La simulación como herramienta de diseño y evaluación arquitectónica, paradigmas resueltos desde la Ingeniería. *Revista de Arquitectura*. 18(1):111-125.
- [15] Vinodh S., & Joy D. (2012). Structural equation modeling of lean manufacturing practices. *International Journal of Production Research*, 50(6): 1598-1607.
- [16] Womack J.P., Jones D.T. & Roos D. (1990). *The machine that changed the world: The story of lean production systems* (1ra ed.). New York, USA: Rawson associates.