

# PROPUESTA DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA EL PROCESO DE TRILLA EN EL SECTOR CAFETERO: CASO ESPECÍFICO RACAFÉ S.A MEDELLÍN

Sergio Andrés López Trujillo  
Universidad Pontificia Bolivariana  
Colombia  
Sergiololo17@hotmail.com

Javier Darío Fernández Ledesma  
Universidad Pontificia Bolivariana  
Colombia  
Javier.fernandez@upb.edu.co

## RESUMEN

Este artículo presenta el modelo de simulación del proceso de producción de café excelso en la empresa Racafé Medellín. Este producto es de vital importancia para la compañía al ser el que tiene mayor presencia en el mercado al exportarse a diferentes países. Se presentan inicialmente conceptos claves para el desarrollo del modelo, seguido de los antecedentes investigativos en el área de la simulación además del contexto del sector cafetero. Posteriormente se analiza la problemática de la empresa que sirve como base para determinar las bases del modelo. Una vez conceptualizado el modelo, se procede a la recolección de datos, que son analizados estadísticamente para realizar el desarrollo del modelo en el software Promodel. A través de los resultados obtenidos se plantean dos escenarios buscando dar recomendaciones a la empresa en cuanto a la eficiencia en la planeación de la producción con base al recurso humano; esto la hará tomar mejores decisiones y ser más competitiva en un entorno cada vez más difícil para este sector.

**Palabras clave:** Café excelso, Simulación, modelo, eficiencia, competitiva.

## ABSTRACT

This article presents the simulation model of the production process of exalted coffee in company Racafé Medellín. This product is vital for the company to be the one with greater market presence when exported to different countries. Key to the development of the model, followed by the research background in the area of simulation of context plus the coffee sector concepts initially present. Then the problems of the company that serves as the basis for determining the basis of the model is analyzed. Once conceptualized the model, we proceed to data collection, which are statistically analyzed for model development in Promodel software. Through the results of two scenarios arise seeking to give recommendations to the company in terms of efficiency in production planning based human resource; This will make better decisions and become more competitive in an increasingly difficult environment for this sector.

**Keywords:** Exalted coffee, simulation, model, efficiency, competitive.

## INTRODUCCIÓN

El sector cafetero en Colombia ha sido de gran importancia para el desarrollo económico y social del país. Sin embargo la producción y el rendimiento nacional han ido disminuyendo en los últimos años, lo cual se refleja en una caída en las exportaciones de café de 13,9 millones de sacos en 1.990 a 7,2 millones en 2.012. Por otra parte el consumo mundial entre el año 2.000 y 2.012 creció un 24%, lo cual no ha sido aprovechado por Colombia ya que el mercado internacional es cada vez más competitivo: han entrado a competir nuevos países como Perú y Etiopía mientras que

otros como Brasil, han aumentado enormemente su participación mundial; Colombia por su parte, entre 2.000 y 2.012 pasó de representar el 9,21% al 5,55% de la producción mundial de café (Departamento Nacional de Planeación, 2013).

Además de esto la gran volatilidad que ha tenido el precio del café en los últimos años, sumado a efectos del cambio climático y a los programas de renovación de cafetales han causado crisis en empresas colombianas que ya no cuentan con la misma rentabilidad que en años anteriores.

Racafé S.A es una empresa colombiana dedicada a la producción y comercialización de café en el mercado nacional y extranjero. Para que la compañía sea competitiva en este mercado debe cumplir con estándares de calidad internacionales, obligándola a ser muy exigente en sus parámetros de productividad y eficiencia. Sin embargo en la sede de Medellín no se tiene un conocimiento claro de la capacidad actual de la planta presentando dificultades para realizar una correcta planeación de la producción; esto conduce a que se especule en la contratación de personal para atender los picos operativos, lo cual genera sobrecostos por exceso de recursos o problemas para cumplir con la demanda en el tiempo pactado, afectando la calidad del servicio y la imagen de la empresa.

Debido a esto se evidencia la necesidad de construir un modelo que permita a la empresa diagnosticar el estado actual de sus procesos, tiempos de operación y rendimiento de sus recursos, que logre identificar situaciones problemáticas. Este modelo servirá como soporte en la toma de decisiones en lo concerniente a la administración óptima de sus recursos y en la planeación de la capacidad de producción con base en la demanda que se presente.

Con esto se espera que Racafé logre una disminución en tiempos y costos que aumenten su productividad, logrando tener altos niveles de eficiencia y eficacia con sus objetivos de negocio y permitiéndole a la compañía estar mejorando en un entorno cada vez más exigente y competitivo, en donde la optimización de los procesos son claves si desea mantenerse en el mercado.

## 1. ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACIÓN

### Acerca de la simulación

La disciplina de la simulación como técnica numérica apareció durante la segunda guerra mundial cuando Von Neumann y Ulam aplicaron los métodos de Montecarlo a problemas de difusión de neutrones en el desarrollo de la bomba atómica (Ríos et al, 2009). Esta disciplina ha ido evolucionando con el tiempo y por medio del avance de los medios digitales en los últimos años está ganando importancia y está siendo utilizada para la modelización y simulación a problemas complejos de diversas disciplinas. Según Martin Shubick en 1960, la simulación de un sistema u organismo es la operación de un modelo o simulador que es la representación del sistema u organismo. Este modelo puede tener relación con manipulaciones que serían imposibles de realizar en un sistema real, demasiado costosas o imprácticas. La operación del modelo puede estudiarse y de ese estudio pueden analizarse las propiedades relacionadas con el comportamiento del sistema o subsistema real (Ríos et al, 2009).

La simulación es una técnica experimental para resolver problemas, esto se hace generalmente a través de un computador (Calderón, 1983). Este estudio dependerá de la

naturaleza del sistema. Entre algunas de las ventajas que tiene la simulación para tomarse como herramienta para solucionar problemas están:

- La simulación hace posible estudiar y experimentar con las interacciones complejas que se dan en un sistema.
- Se pueden estudiar ciertos cambios informativos, de organización o ambientales en la operación de un sistema y observar los efectos de estas alteraciones en el comportamiento del sistema.
- La observación detallada del sistema que se está simulando conduce a un mejor entendimiento del mismo y proporciona sugerencias para mejorarlo.
- La simulación permite estudiar los sistemas dinámicos, ya sea en tiempo real, comprimido o expandido.

La simulación ha tenido un alto impacto en procesos industriales buscando la optimización de estos. Se ha evidenciado a través de la generación de múltiples modelos la importancia de manejar eficientemente la relación entre personal, productos y procesos teniendo en cuenta un óptimo manejo de los recursos y un despliegue estratégico que haga que en una empresa todos apunten hacia los mismos objetivos; esta es la base para ser más productivos y competitivos (Fernandez, 2010).

### Promodel

Para realizar la simulación se eligió el Promodel, un software que permite simular diferentes modelos de diferentes campos de la industria y procesos productivos. Es un programa que permite simular prácticamente cualquier sistema y crear modelos de forma flexible.

Al contar con el modelo el programa permite simular diversos escenarios y encontrar los valores óptimos de los parámetros más importantes del modelo, buscando generar, entre otras cosas, impactos como reducir costos, ser más eficientes en los procesos y hacer al sistema lo más productivo posible a través de la integración de un módulo de optimización (ProModel Corporation).

### Acerca del sector cafetero

Colombia es uno de los principales productores de café a nivel mundial siendo el tercer país que más lo produce. Este producto es uno de los más exportados e incluso es uno de los principales símbolos con que se relaciona al país en todo el mundo. El sector cafetero al ser uno de los más grandes en Colombia, ha ayudado a financiar el desarrollo de la infraestructura en muchas regiones e incluso a potenciar otras industrias y proyectos (Banco Mundial, 2002).

Sin embargo en los últimos años la participación del sector cafetero ha venido disminuyendo tanto en el sector rural como en la economía en general del país: en cuanto a la participación en el sector agropecuario pasó de ser el 23,32% en 1990 al 8,18% en 2011; en cuanto al peso sobre

el PIB nacional pasó del 2,33% en 1990 al 0,52% en 2011. A su vez la participación del café en el valor de las exportaciones nacionales en 2011 fue del 5% (Departamento Nacional de Planeación, 2013).

A su vez el país ha venido experimentando un decrecimiento continuo en la producción de café. Esta caída incidió en las exportaciones, pasando de 13,9 millones de sacos en 1990 a 7,9 millones en 2012, presentando un decrecimiento del 48%. Mientras esto pasaba en la economía nacional, las exportaciones mundiales de café crecieron a una tasa anual del 1,4% pasando de 79 millones de sacos a 104 millones.

Colombia ha perdido competitividad en el mercado internacional por varios motivos como lo son: la alta volatilidad del precio nacional e internacional del café en los últimos años, la revaluación del peso, altos impactos del cambio climático, el alza en los precios de los fertilizantes y el programa de renovación de cultivos, el cual busca mejorar el rendimiento del café haciéndolo más resistente a enfermedades del café como la roya. Sin embargo en el proceso de renovación miles de hectáreas quedaron parcialmente siendo improductivas (Departamento Nacional de Planeación, 2013).

Es por esto que el presidente de la federación hace énfasis en una mejora en la eficiencia en el nuevo entorno mundial, en donde afirma que los cafeteros del país deben apuntar hacia la “capacidad regional para gestionar y mantener la productividad, la competitividad y reducir los costos”, coordinando eficientemente la cadena productiva y aumentando la capacidad de negociación. Agrega que el Ministerio de Agricultura se encuentra actualmente realizando un análisis de los costos más representativos, entre ellos el de los fertilizantes que tanto han impactado (Precios del café podrían seguir altos todo el 2014, 2014).

## **2. CASO DE APLICACIÓN**

### **Planteamiento del problema**

En la empresa Racafé Medellín se presentan problemas a la hora de planear la producción con base a la demanda ya que no se tiene conocimiento de la capacidad actual de la planta y se especula en la contratación de personal conforme la demanda vaya cambiando.

Actualmente la empresa no cuenta con capital disponible para realizar inversiones en maquinaria, lo cual ha llevado a los directivos a pensar en una optimización de sus procesos con base a una eficiente contratación de personal, en donde no se presenten excesos que lleven a incrementar los costos y también teniendo en cuenta los tiempos de entrega pactados con los clientes, para así trabajar lo más eficientemente posible mientras se sigue posicionando a la empresa con base a su calidad y cumplimiento.

De esta forma a la hora de analizar el proceso de trilla, se pretende realizar un estudio de métodos y tiempos que

permita llevar a cabo la ejecución de un modelo de simulación aplicable a Racafé Medellín. Este modelo estará basado en la totalidad del proceso de producción de café excelso pero se centrará principalmente en los subprocesos donde intervienen operarios, que es lo que en definitiva se desea optimizar con la ejecución de este trabajo. Además cabe anotar que los volúmenes de producción cambian mucho a lo largo del año; nuestro modelo estará basado en la temporada de cosecha que es la que mayor volumen de producción demanda y donde la empresa tiene mayores inconvenientes a la hora de efectuar la planeación.

### **Metodología**

Para realizar el modelo que de solución a la problemática mencionada se siguió la siguiente metodología:

1. Realizar visitas a la empresa para conocer el proceso productivo utilizado en la empresa Racafé. A partir de esto se definen las variables que influyen en el proceso de trilla y sus relaciones lógicas.
2. Recolectar los tiempos y demás datos necesarios para la construcción del modelo de simulación a través de toma directa en la empresa. Así mismo una vez tomados, estos se deben analizar estadísticamente para la construcción del modelo.
3. Construir el modelo de simulación con la herramienta Promodel.
4. Ejecutar el modelo y realizar los ajustes necesarios, posteriormente analizar los resultados obtenidos y plantear escenarios para hacer comparaciones.
5. Entregar un documento técnico con los resultados del proceso simulado y las recomendaciones o sugerencias para su optimización.

### **Conceptualización del modelo de simulación**

De acuerdo a las necesidades de la empresa, el proceso a optimizar es el de trilla del producto café excelso ya que es el más complejo y el que mayores ingresos le genera a Racafé. Como se mencionó al documentar el proceso la materia prima que entra es café pergamino y la salida después del proceso de trilla es café excelso, el cual es empacado en bultos para su distribución a los diferentes clientes, por esto son las dos entidades que se tendrán en cuenta en el modelo al ser las que pasen a través de las locaciones.

Como el principal objetivo del modelo es obtener una mayor claridad a la hora de contratar personal y planear su producción de acuerdo a la demanda, las locaciones a tener en cuenta son aquellas en donde intervienen operarios, mientras que el proceso de trilla, donde intervienen numerosas máquinas, será tomado como un solo tiempo debido a que trabaja en forma continua y con base al presupuesto de la empresa, no hay capital disponible para invertir en maquinaria ni realizar ajustes. Debido a esto, la empresa desea contar con un alto grado de conocimiento del rendimiento del recurso humano dentro del proceso de trilla

para optimizarlo. Además se debe tener en cuenta que después del descargue, los sacos tardan un tiempo en entrar al proceso de producción ya que se arma una fila para pasar por las rejillas. Las locaciones del modelo son:

- Zona de descargue
- Fila
- Trilla
- Bodega
- Zona de cargue

Los supuestos del modelo son:

1. Una hora real de trabajo corresponde a 60 minutos reales de trabajo.
2. Los operarios no tienen una única función definida, estos comienzan su jornada en el proceso de descargue y también son los mismos encargados de empaque y cargar.
3. El número de trabajadores permanece constante.
4. Las locaciones de descargue, empaque y cargue tienen capacidad infinita ya que se desarrollan en espacios de área muy grande donde es muy difícil que se llenen con lo que se produce. Lo que limita a estos procesos es el número de operarios.
5. La jornada laboral consta de 10 horas al día, con un solo turno.
6. Se realizan 10 réplicas.
7. El modelo se representa una semana de trabajo, por lo que termine una vez pasan 70 horas de trabajo.

### 3. RESULTADOS DEL MODELO

Una vez tomados y analizados los datos, se procede a crear el modelo de simulación en el software Promodel, en donde en primer lugar se creó un modelo con 25 operarios, un número utilizado constantemente con la empresa. En este caso los resultados obtenidos fueron:

Al obtener los resultados de las locaciones encontramos que en una semana entran aproximadamente 12.750 sacos de café pergamino de 70 Kg, lo que da un equivalente de alrededor de 892 toneladas.

Se observa que las locaciones en las que los operarios participan (descargue, empaque y cargue) son las que más tiempo demoran a las entidades, siendo el proceso de cargue el que más tiempo gasta con 224 minutos, seguido del empaque con 129 minutos y del cargue con 109 minutos. Esto se explica ya que a pesar de que son operaciones de corta duración, se tiene una gran cantidad de sacos lo que hace que tengan tiempos de espera mientras los operarios van realizando sus labores y aumentan el tiempo de los sacos en cada locación. En la fila y en la trilla, donde no hay operarios los tiempos promedio de cada entidad son mucho más cortos. Esto también se corrobora analizando los datos arrojados en donde el número de sacos es mayor en las operaciones de los trabajadores.

Por otra parte se observa que la locación que llega a un mayor número de entidades en un momento determinado es la zona de descargue; esto se debe a que los camiones con café pergamino llegan muy seguidos y en el momento en que arriban los operarios pueden estar apenas entrando a la operación de empaque para después cargar los camiones, lo que hace que se puedan llegar a acumular muchos sacos.

Por otra parte se obtuvo que ninguna locación llega a estar llena ni no disponible en ningún momento de la semana; esto se da ya que la planta cuenta con espacios en su planta muy amplios que permiten agrupar sin problema grandes cantidades de sacos como por ejemplo en el descargue, empaque o cargue, en donde la capacidad está determinada por el número de operarios que puedan manipularlas a la vez y por esto se supusieron infinitas. Esto hace también que todas las entradas de café pergamino entren al proceso de producción.

Se obtuvo que la locación fila es la que menos se utiliza al permanecer vacía un 86% del tiempo ya que tiene un tiempo de espera muy corto para cada entidad y no está limitado por el número de operarios. A esta locación le sigue la trilla mientras que las locaciones de descargue, empaque y cargue tienen unos porcentajes muy altos de ocupación parcial, que indica que al menos cuentan con un saco procesándose en ellas; el empaque lidera con un 99,3% seguido del cargue con un 98,14 % y del descargue con un 96,36%.

Posteriormente se analiza el comportamiento durante las 70 horas de los recursos:

En primer lugar se obtuvo que cada operario tarda en promedio 1,75 minutos durante cada operación que realiza mientras que tarda en promedio 9 segundos en cada desplazamiento que hace. Además de esto no tiene porcentaje de tiempo de esperas en sus desplazamientos. Cabe anotar que la toma de tiempos se efectuó por varias horas en condiciones normales, en donde los operarios iban al baño, comían o tomaban algo o descansaban durante instantes. Por esto el ritmo normal de diez horas de trabajo al día contempla todas estas variables.

Como principal dato tenemos que los clientes trabajan un 100% del tiempo y no presentan tiempo ocioso, mostrando una alta eficiencia. Dada la gran cantidad de café que entra son ellos los responsables de que la empresa produzca más o menos café excelso. Como se observó en las locaciones, los procesos en los que intervienen los operarios son los que más tiempo demandan en el proceso. Sin embargo la empresa debe contar con los operarios suficientes acorde a su demanda, ya que de nada servirá producir más si no lo requiere.

Para terminar, Promodel nos arroja los resultados de las entidades. Según los resultados de la simulación se observa que la planta de producción con 25 operarios produce en una semana 10.276,1 sacos de café. Esto equivale a 1.468 sacos al día. Por otra parte se encuentra que el mayor tiempo de cada saco en el sistema es el de espera, siendo 229,88 minutos en promedio. Posteriormente le sigue el

tiempo en movimiento que corresponde en promedio a 122,95 minutos y el tiempo promedio en el que cada saco estuvo bloqueado para llegar a su locación de destino y por último encontramos que el tiempo de operación por saco es de 9,52 minutos.

Dado todo lo anterior se encuentra que el número de operarios en la planta Racafé Medellín es el encargado de modificar los tiempos de operación y de producción de café excelso, en donde se debe buscar encontrar el número adecuado según la demanda, el tiempo de respuesta y teniendo un porcentaje de utilización preferiblemente mayor al 95%.

Buscando conocer el impacto que tiene algún cambio en el recurso humano dentro del proceso de producción y su capacidad se plantearon dos escenarios variando el número de operarios que se presentan a continuación.

### **Escenario 1: Resultado modificando el número de operarios a 20**

En este primer escenario se buscó analizar el impacto en la capacidad de producción y en el sistema, de contar con cinco operarios menos. La simulación fue realizada con el mismo número de réplicas y de horas.

Al entrar 12.750 sacos, solo llegan al cargue en una semana 7.759, mostrando que es muy grande la cantidad de entradas al sistema para su capacidad. Por otra parte el tiempo promedio de un saco en las locaciones de fila y trilla continuó igual que si se trabajara con 25 operarios; el cambio se produjo en las locaciones donde intervienen los operarios, donde en la zona de descargue se pasó de 224 a 700 minutos, más del triple del tiempo. Las locaciones de empaque y cargue por su parte pasaron de 129 y 108 minutos con 25 operarios, a demorarse 386 y 303 minutos respectivamente, casi triplicando el tiempo anterior.

Por otra parte la locación descargue es la que más problemas presenta ya que con llegadas cada 50 minutos y los tiempos de operación, llegó a acumular hasta 4.568 sacos en un momento determinado, lo cual ocuparía gran cantidad de espacio y generaría un cuello de botella para el proceso.

En cuanto a los resultados de los recursos se observa que los operarios como es de esperar, siguen teniendo los mismos tiempos promedio por operación o traslado y que tienen un porcentaje de utilización del 100%. Dada la gran cantidad de café pergamino que va entrando estos deben trabajar al máximo sin tiempo ocioso y aún así es insuficiente para atender todo el proceso creando cuellos de botella en todas las operaciones donde intervienen.

Al variar el número de operarios de 25 a 20, las salidas de café excelso pasaron de 10.276 a 7.500 sacos, una disminución en la producción del 37%. La producción diaria con 20 operarios es de aproximadamente 1.071 sacos. El tiempo en que los sacos están bloqueados o en espera fueron los mayores, seguidos de los tiempos de transporte y por

último el de operación. En total el tiempo promedio de un saco en el sistema pasó de ser 439,6 a 983,8 minutos, siendo este más del doble.

Con veinte operarios y las entradas registradas en tiempo de cosecha la capacidad presenta serias dificultades al llevar sus recursos al máximo y no dar abasto con la gran cantidad de sacos. Sin embargo si se tiene una demanda menor de café se puede establecer con el proveedor aumentar el tiempo entre llegadas y de esta forma optimizar los recursos y producir solo lo necesario.

### **Escenario 2: Resultado modificando el número de operarios a 30**

En el segundo escenario se buscó analizar el impacto en la capacidad de producción y en el sistema, de contar con cinco operarios más. La simulación fue realizada con el mismo número de réplicas y de horas.

En comparación con el modelo inicial de 25 operarios se observa que todas las entradas logran llegar al proceso de cargue, además hay una gran disminución en el tiempo promedio por saco en cada locación: con 25 operarios en la zona de descargue tardaban 224 minutos mientras que con 30 operarios tardan solo 11,7 minutos en promedio, siendo casi veinte veces menos de lo que demoraba. Los tiempos de empaque y cargue estaban en promedio por saco en 342 y 276 minutos respectivamente; estos pasaron a ser de tan solo 84 minutos en el empaque y 112 minutos en el cargue. Las locación que llega a tener un mayor número de sacos en un determinado momento es la zona de cargue, a diferencia del escenario anterior donde era la zona de descargue, lo que muestra que con los recursos actuales no se presentarían problemas para atender las llegadas de café pergamino.

Analizando el comportamiento de los recursos se observa que ahora los operarios han bajado el tiempo de operación de 1,75 a 1,72 minutos mientras que el tiempo que demoran en promedio en traslados pasó de 0,15 a 0,9 minutos. Además su porcentaje de utilización pasó del 100% al 90,82% en promedio por operario, presentándose un tiempo ocioso del 9,18% en su jornada laboral de 10 horas, que equivaldría a 55 minutos.

Con 30 operarios se tiene capacidad para atender todas las llegadas y se llegan a producir semanalmente 12.500 sacos de café excelso, mientras que con 25 se producen 10.276. Con esta tasa se producirían en promedio al día 1.785 sacos equivalentes a casi 125 toneladas de café.

Por otra parte el tiempo total en el sistema por saco es de 79,63 minutos, a diferencia del modelo inicial con 20 operarios donde este tiempo era de 439,65 minutos. No hay bloqueo de los sacos al pasar por los procesos y el tiempo que más demora a los sacos continua siendo el de espera, aunque disminuye de 229,88 a solo 53,21 minutos.

De esta forma con 30 operarios se tiene capacidad para atender la totalidad de las llegadas y se alcanza la tasa de

producción más alta posible con esa frecuencia entre llegadas. Por otra parte no es rentable tener tantos operarios ya que hay un 9,18% de tiempo ocioso por cada uno de ellos, que equivale a pagar casi 30 horas en vano al día, lo cual incrementa los costos y hace que a pesar de que se trabaje más rápido no se logre tanta rentabilidad.

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del modelo de simulación para el proceso de trilla de café excelso se encontró que para la planeación de la producción el recurso del personal es vital para conocer la capacidad que se puede alcanzar en un momento determinado. Como se pudo observar en los diferentes escenarios (variando el número de operarios de 25 a 20 y a 30), los procesos de descargue, empaque y cargue ocupan la mayor cantidad de tiempo dentro del proceso; en estos los operarios son los que determinan su duración ya que según su cantidad, estas actividades varían su tiempo de operación.

Por esto a la hora de buscar optimizar todo el proceso de trilla se debe contar con el número exacto de trabajadores que garanticen el cumplimiento de una orden de producción en un tiempo establecido por el cliente y que puedan contar con un porcentaje de utilización mayor al 95% para así evitar tiempos ociosos que incrementen los costos.

Al comparar los diferentes escenarios del modelo se observó que con cambios en los operarios de 25 a 20 o a 30, el sistema sufría grandes cambios. En primer lugar solo con 30 operarios se logra transformar la totalidad de entradas que se tienen en café excelso. Por otra parte el tiempo total en el sistema de un saco de 70 Kilogramos tiene duraciones de 79, 439 o 983 minutos si hay 30, 25 o 20 operarios respectivamente, lo que representa una alta variabilidad en el proceso variando este recurso.

De esta forma es claro que la empresa no puede seguir especulando a la hora de contratar personal ya que esto le puede traer consecuencias como generar altos costos por recursos ociosos o por tener que pagar horas extras, no cumplir con las órdenes de los clientes perjudicando la imagen y seriedad de la empresa o comprar más materia prima de la requerida en un momento determinando ocupando gran cantidad de espacio en la empresa en inventarios y pudiendo afectar la liquidez innecesariamente.

Estas diferencias en el número de operarios muestran que además de afectar considerablemente los tiempos de cada operación, la capacidad de producción varía notablemente, llegando a 12.500 sacos por semana con 30 operarios, 10.276 sacos con 25 y 7.500 sacos con 20. Esto además teniendo en cuenta que con 30 operarios se llega a producir un tiempo ocioso en los operarios del 9% a diferencia de los otros casos donde los recursos pasan la totalidad del tiempo ocupados, lo que indica que con menos operarios se podría haber logrado la misma tasa de producción.

Como se mencionó anteriormente, el tiempo entre las llegadas de café pergamino varía según la temporada del año y la cantidad específica de café demandada por el mercado. A partir de la orden de producción la empresa debe comenzar a planear su producción teniendo en cuenta el tiempo entre llegadas y cantidad de café requerido, el tiempo de respuesta que requiere el cliente y el número de operarios necesarios para cumplir a tiempo, logrando la máxima eficiencia posible en el uso de los recursos.

Con la explicación de este modelo de simulación al jefe de producción de la empresa Racafé Medellín se busca que este pueda adaptarlo a cada orden de producción de un cliente, buscando obtener la cantidad necesaria de materia prima en el momento necesario y contando con el número de operarios que puedan hacer que la empresa cumplan con su responsabilidad frente a este, teniendo en cuenta que estos tengan un porcentaje de utilización de más del 95%. Con esto la empresa disminuirá los costos de producción y mejorar sus tiempos de respuesta.

Al validar el modelo con el teorema central del límite se calcularon los intervalos de confianza del sistema real y del sistema simulado, observando que el modelo representaba adecuadamente la realidad. Las diferentes herramientas que ofrece la ingeniería industrial para la optimización de procesos son cada vez más importantes a la hora de intervenir empresas como en el caso de Racafé Medellín, que cada día cuentan con más competencia y que deben lograr llevar su productividad y eficiencia al máximo si desean subsistir y aumentar su presencia en el mercado.

#### REFERENCIAS

- Aracil, J., & Gordillo, F. (1997). *Dinámica de Sistemas*. Madrid: Alianza Editorial.
- Arnold, M., & Osorio, F. (1998). Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 2-12.
- Ayala, C., & Rhenals, J. (2012). *Propuesta de un modelo de simulación para la gestión de la productividad en industrias del sector metalmeccánico de Medellín caso específico: Termofijo S.A.* Medellín.
- Banco Mundial. (2002). *Estudio del Sector Cafetero en Colombia*. Washington.
- Bermón, L. (2010). *Universidad Nacional de Colombia*. Recuperado el 15 de Mayo de 2014, de <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4060010/lecciones/Capitulo1/modelo.htm>
- Calderón, B. (1983). En B. Calderón, *Introducción a la Simulación* (págs. 25-30). Medellín: Editorial asociación de ingenieros industriales, Universidad de Antioquia.

- Canavos, G. (1988). *Probabilidad y Estadística, Aplicaciones y Métodos*. Mexico D.F: McGraw Hill, Interamericana de Mexico S.A.
- Castillo, M. P., Lain, S., & Gandini, M. A. (2012). Simulación de la ruta de transporte y dispersión de emisiones gaseosas provenientes del basurero de Navarro, Cali (Colombia). *Ingeniería y Universidad* .
- Chou, Y.-L. (1977). *Análisis Estadístico*. México,D.F: Nueva Editorial Interamericana S.A.
- Cultura E Medellín*. (2013). Obtenido de <http://www.culturaemedellin.gov.co/sites/CulturaE/CulturaE/Paginas/Cedezo.aspx>
- Departamento Nacional de Planeación. (2013). *Documento Conpes 3763*. Bogotá D.C.
- Depool, R., & Monasterio, D. (2013). *Probabilida y Estadística. Aplicaciones a la Ingeniería*. Barquisimeto: Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre.
- Devore, J. (2005). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias, sexta edición*. México D.F.: International Thomson Editores.
- Dibujos*. (15 de Diciembre de 2010). Recuperado el 5 de Junio de 2014, de <http://galeria.dibujos.net/vehiculos/camiones/camion-3-pintado-por-nahuel-7926460.html>
- Federacion Nacional de Cafeteros. (2013). *Federación Nacional de Cafeteros de Colombia*. Recuperado el Abril de 2014, de [http://www.federaciondecafeteros.org/particulares/es/quienes\\_somos/](http://www.federaciondecafeteros.org/particulares/es/quienes_somos/)
- Fernandez, J. (2010). *Modelo de productividad y competitividad caso específico: Termofijo S.A*. Medellín.
- Fernández, V. (2008). CLUSTERS y desarrollo regional en América Latina. En V. fernandez. Buenos Aires, Argentina: Editorial Miño y Dávila.
- Gómez, R., & Correa, A. (2011). Mejoramiento de la recepción en una empresa de colchones . *Revista Lasallista de Investigación* .
- Grialdo, A., & Marín, D. (2005). La Investigación y Desarrollo en el Sector Floricultor: Modelamiento y Análisis. *II Congreso colombiano de dinámica de sistemas*. Santa Marta.
- Gutiérrez, H., & De La Vara, R. (2003). *Análisis y diseño de experimentos*. México D.F.: McGraw-Hill /Interamericana Editores S.A.
- Hernandez, M. (4 de Octubre de 2008). *Optimización y Estadística*. Obtenido de <http://optyestadistica.wordpress.com/2008/10/04/valores-outliers/>
- Jacobsen, C., & Bronsen, R. (1987). Defining Sociological concepts as variables for system dynamics modeling. *System Dynamics Review*, Vol.3 , 1-7.
- Johansen B, O. (2004). Introducción a la Teoría General de Sistemas. En O. Johansen B, *Introducción a la Teoría General de Sistemas* (págs. 53-81). Editorial Limusa.
- Kanawaty, G. (1996). *Introducción al estudio del trabajo, cuarta edición*. Ginebra: Oficina Internacional del Trabajo.
- Keating, M. (1998). *The new regionalism in Western Europe: Territorial Restructuring and Political Change*. UK: Cheltenham:Edward Elgar.
- Martínez, C. (2005). *Estadística y Muestreo, Décimo Segunda Edición*. Bogotá D.C.: Ecoe Ediciones.
- Medellín Ciudad Clúster*. (2013). Recuperado el 12 de Marzo de 2013, de <http://www.medellinciadcluster.com/>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2006). *Competitividad: Concepto y Determinantes*. República de Uruguay.
- Monsalve, A., & Ortiz, D. (2011). *Propuesta de un modelo de simulación para un proceso de poscosecha: caso específico inversiones coquette*. Medellín.
- Morales, A. (2012). *Estadística y Probabilidades*. Chile: Universidad Católica de la Santísima Concepción.
- Muñoz, H., & Jimenez, J. (2004). *Diseño de un modelo de simulación para optimizar los procesos en una lavandería industrial como parte de la industria de la confección*.
- O'Connor, J., & McDermott, L. (1998). *Introducción al Pensamiento Sistémico*. España: Ediciones Urano S.A.
- Ortiz, F., Nuño, P., Torres, R., & Báez, O. (2008). COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE COSTOS ESTANDAR Y LA TEORIA DE RESTRICCIONES PARA EL CONTROL DEL FLUJO DE MATERIALES MEDIANTE UN MODELO DE SIMULACIÓN. *Revista de la Ingeniería Industrial* .
- Pixabay*. (2014). Recuperado el 5 de Junio de 2014, de <http://pixabay.com/es/cami%C3%B3n-transporte-del-motor-24362/>
- Portus, L. (1988). *Curso Práctico de Estadística*. Bogotá: McGraw-Hill.

Precios del café podrían seguir altos todo el 2014. (25 de Febrero de 2014). *Portafolio* .  
*ProModel Corporation*. (s.f.). Recuperado el 13 de Agosto de 2013, de <http://www.promodel.com.mx/promodel.php>

Rincón, L. (2007). *Curso elemental de Probabilidad y Estadística*. México D.F.: Facultad de Ciencias UNAM.

Ríos et al, D. (2009). En D. Ríos, S. Ríos, J. Martín, & A. Jiménez, *Simulación: Métodos y Aplicaciones* (Segunda edición ed., págs. 96-104). México: Editorial Alfaomega Grupo Editor.

Rodríguez, L. (2007). *Probabilidad y Estadística básica para ingenieros*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Sander, B. (1990). *Educación, Administración y Calidad de Vida: Caminos Alternativos del Consenso y del Conflicto*. Buenos Aires: Ediciones Santillana.

Scott, A., & Storper, M. (2003). *Regions and the World Economy: The Coming Shape of Global Production, Competition and Political Order* . Oxford University Press.

Shannon, R. (1988). *Simulación de sistemas: diseño, desarrollo e implantación*. Mexico : Ed.Trillas.

Tacchini, J., & Tacchini, F. (2012). Producción de cerezo en Mendoza: viabilidad técnico-económica, basada en un modelo de simulación.  
*Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* .

*Tec-quest*. (s.f.). Recuperado el 13 de Agosto de 2013, de <http://www.tec-quest.com/statgraphics.htm>

Walpole, R. (1999). *Probabilidad y Estadística Para Ingenieros, Sexta Edición*. México D.F: Prentice Hall Hispanoamérica S.A.



