

## **PROMODEL: UNA HERRAMIENTA ALTERNATIVA AL EVALUAR EL RENDIMIENTO DE LA ACTIVIDAD INDUSTRIAL**

**Isaías Simón Marmolejo<sup>1</sup>**

**Joselito Medina Marín<sup>2</sup>**

**RESUMEN:** Las firmas empresariales tienen la necesidad de vislumbrar líneas de acción claras hacia sus sistemas productivos. La simulación guía la tomar decisiones bajo la representación de diferentes escenarios y lapsos de tiempo donde los sistemas se tornan complejos por la gran cantidad de variables que en estos interactúan. Por tanto, la principal aportación de este artículo es poner en evidencia las características y circunstancias bajo las cuales opera y se encuentra la dinámica de una empresa procesadora de lácteos mediante el software *ProModel*. El estudio incluye una revisión de la literatura, conceptos de modelado y simulación, áreas de aplicación, análisis de datos, construcción de un modelo de simulación, diseño de experimentos y análisis de resultados. A manera de conclusión, el documento, indican que un pequeño aumento en la capacidad de algunos equipos, se traduciría en un mayor desempeño del sistema.

**Palabras-claves:** Sistemas productivos. Simulación. *ProModel*.

### **1 INTRODUCCIÓN**

Las organizaciones líderes se hacen más austeras y más ágiles, y cada vez más se apoyan en su esbelta, confiable y eficiente operación la cual deberá ser administrada de la mejor manera posible si se quieren tomar decisiones acertadas sobre las actividades de los sistemas de producción (GAITHER; FRAZIER, 2000). En este entorno dinámico, la administración de la producción y las operaciones tiene mayor importancia que nunca. Sin embargo al aumentar el tamaño de una planta y su volumen de producción aumenta la incertidumbre al coordinar el manejo de personal, los procesos de producción y flujo de materiales; entonces, se llega a un punto donde hay que encontrar nuevas fuentes de

---

<sup>1</sup> Ms. en Ingeniería Industrial por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Departamento de Ingeniería Industrial, Escuela Superior de Ciudad Sahagún, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Cd. Sahagún, Hidalgo, México. E-mail: [isaias.simn@gmail.com](mailto:isaias.simn@gmail.com).

<sup>2</sup> Dr. en Ingeniería Eléctrica por el Centro de Estudios Avanzado e Investigación del Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación Avanzada en Ingeniería Industrial, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, Hidalgo, México. E-mail: [jmedina@uaeh.edu.mx](mailto:jmedina@uaeh.edu.mx).

capacidad pues esta misma define los límites competitivos de la empresa (MACHUCA et. al., 1995).

Aquí la intención es proponer herramientas alternativas que contribuyan a crear *modelos* de sistemas que planteen posibles propuestas a soluciones de problemas evaluados en módulos delimitados por el analista pero sin perder de vista las características y efectos de su entorno, y una de las más importantes herramientas para analizar el diseño y operación de sistemas o procesos complejos es la simulación (COSS, 2003). La simulación concreta decisiones que apoyan, una serie de lineamientos para idealizar, planificar, diseñar, controlar, proyectar e implantar la evolución de un sistema existente o en la creación de uno nuevo.

Una de las fábricas productoras de lácteos de mayor importancia de México, observa problemas de saturación en sus líneas de proceso. Los problemas de congestión en las líneas de producción de la empresa han planteado la posibilidad de construir o rediseñar las estructuras de la empresa, cuyo costo será considerable, por lo que la solución de este tipo de problemas es innegablemente de gran importancia práctica. Es necesario señalar que la empresa ocupa el primer lugar en la producción de lácteos a nivel nacional pues opera una enorme planta, la cual cuenta con más de 82, 000 vacas en 180 establos y produce más de 2 millones de litros de leche al día en sus plantas pasteurizadas así como sus derivados.

Por otra parte, dado que la empresa seguirá operando, cuando menos durante los próximos cinco años en condiciones de saturación, es importante lograr un elevado nivel de eficiencia en su operación, independientemente de la decisión que se tome para construir o rediseñar la estructura de la empresa. La gran variedad y cantidad de variables que influyen directamente al proceso de producción determinan la capacidad de la planta, y al momento de pretender analizar estas variables se contrae un problema de amplia magnitud que hacen casi imposible encontrar una alternativa que recaiga en un grado de eficiencia de mayor magnitud. Por lo anterior, es necesario tener herramientas que sirvan para evaluar el desempeño y dinámica de las líneas de producción abordando el problema desde un enfoque sistemático mediante la modularización de segmentos que contemplen la investigación desde que se reciben las materias primas, el flujo del proceso de producción hasta que el producto terminado es mandado a sus respectivo almacén, por lo que se plantea ahora la necesidad de desarrollar un modelo de simulación que permita hacer este tipo de evaluaciones.

El objetivo general de este trabajo es desarrollar el estudio de análisis de capacidad de la planta desde un enfoque sistémico en una empresa fabricante de productos lácteos utilizando

la simulación con *ProModel*. Los resultados que sean obtenidos serian validados y comparados para comprobar que la calidad teórica y experimental de nuestras investigaciones es una buena alternativa a la solución del problema, esto mediante la realización de experimentos dirigidos a obtener información en relación con el comportamiento del sistema.

A partir de este punto, la investigación se organiza en cinco temas los cuales describen como primer instancia la “Conceptualización del Modelo” desde que llega la leche por medio de camiones contenedores, se descarga, se procesa, hasta que se almacenan cada uno de los productos terminados. Posteriormente, se da un breve resumen de la “Información Estadística de las Operaciones” donde se identifican las distribuciones de probabilidad que mejor se ajustan a un conjunto de datos definido como una variable. Después de contar con la información estadística, el tema siguiente enuncia la técnica empleada en el “Desarrollo, Validación y Verificación del Modelo de Simulación” mediante el uso del software *ProModel*. Subsecuentemente, se describen los “Resultados de la Simulación” mediante cuatro experimentos los cuales buscan entre otras cosas estimar el desempeño del sistema con diferentes niveles en la demanda y proyectar escenarios bajo supuestos variados como remplazo de equipos, mantenimientos etc., y para concluir se dan un conjunto de recomendaciones correspondientes con los resultados de cada uno de los escenarios proyectados en los modelos de simulación.

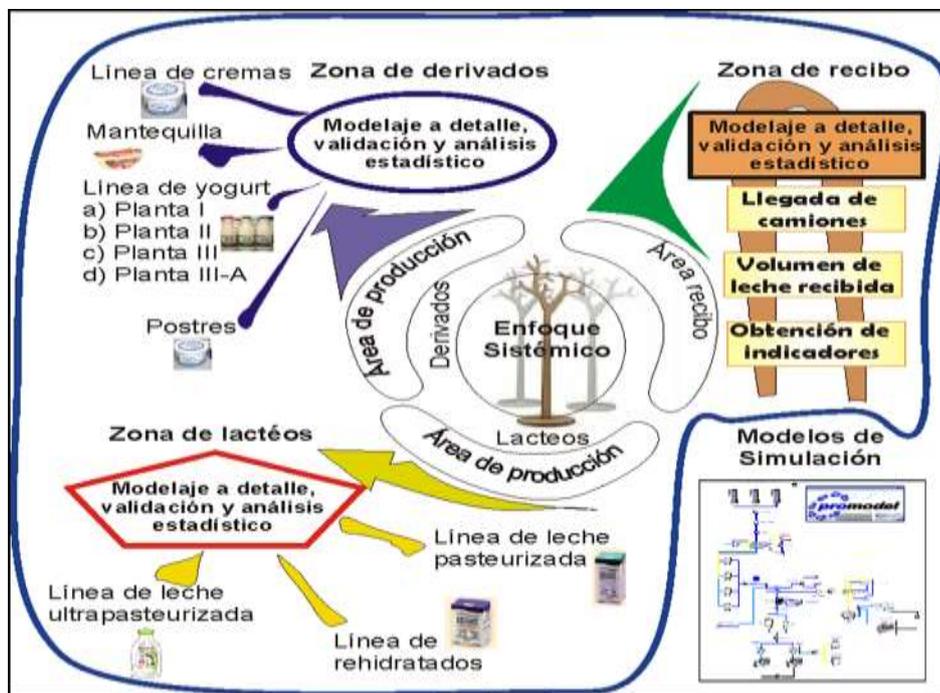
## **2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL MODELO**

Para el estudio del proceso de producción, conviene dividir los sistemas en subsistemas. Aún más, los objetos que representan a un subsistema son considerados como parte del ámbito de otro subsistema; ésta es la idea utilizada por Bertalanffy (1969), al enunciar la propiedad de orden jerárquico de los sistemas. Por otro lado, la Ingeniería de Sistemas según Arbones (2009), nace como consecuencia de la necesidad de planificar, operar y diseñar sistemas, cada día más complejos, que solucionen problemas socio-técnicos. Bajo este orden de ideas, se puede asumir entonces que el sistema de interés está formado por un conjunto de camiones contenedores de leche, que solicitan permiso para entrar y descargar leche en los distintos servidores.

La leche descargada de los camiones se deposita en los silos principales los que dan auge al flujo del proceso global identificándose las siguientes áreas de importancia: área recibo, área de producción de lácteos y área de producción de derivados, cada área se

descompone a su vez en un sub-subsistema de menor escala (en la Figura. 1, se ilustra un acercamiento gráfico, con un enfoque sistémico de la planta productora de lácteos). Aquí la intención es que cada elemento que integra dicho sub-subsistema sea descompuesto a tal grado que se pueda observar a detalle cada componente de estos mismos hasta lograr entender su funcionamiento lógico e iteración con su ambiente que lo rodea y determinar su descripción estadística. Al lograr entender con precisión el comportamiento de cada elemento que compone un sub-subsistema, se puede razonar como funciona un subsistema mayor y así lograr determinar con una mayor precisión el comportamiento del sistema general (la empresa).

Figura 1 – Perspectiva gráfica referente a la modularización del sistema general



Fuente: Elaboración propia

Después de revisar la Figura 1 que es sólo un ejemplo de los muchos sub-subsistemas de planta, se puede ver entonces que la cantidad de variables que componen a este sistema es inmensa. Este enorme sistema sólo se puede entender fragmentando su estructura en módulos pequeños pero sin dañar su funcionalidad como un todo integrado tal como lo describe Acosta (2007), en su libro Ingeniería de sistemas: un enfoque interdisciplinario. Dadas estas causas una respuesta a la demanda de condiciones favorables se empeña en que el sector industrial requiere de aspectos de impacto en el análisis de los sistemas de producción, que hagan la diferencia al logro de una posición competitiva.

### **3 INFORMACIÓN ESTADÍSTICA DE LAS OPERACIONES**

El formalismo Sistemas de Eventos Discretos (SED) fue desarrollado por Bernard Zeigler a mediados de los setentas, Bernard et. al., (2000). Quien decía que un sistema de eventos discretos permite representar todos los sistemas cuyo comportamiento entrada/salida puede ser descrito por secuencias de eventos sujeto a un estado con números finito de cambios en cualquier intervalo finito de tiempo. Los datos de entrada del rendimiento de una simulación deben corresponder directamente a los rendimientos que podrán grabarse del sistema real. Adicionalmente, es posible desarrollar un modelo de simulación de un sistema sin las asunciones dudosas (como la misma distribución estadística para cada variable al azar) de soluciones a modelos matemáticos (BANKS et. al., 2001).

Por otro lado Neumann, (1992) afirma que, sí el modelo que se estará simulando incluyen entradas que son variables aleatorias, entonces el modelo de simulación debería reflejarlas con la mayor precisión posible. Una forma de hacerlo es usando una técnica llamada Simulación de Monte Carlo, en la cual el simulador se diseña para que los eventos simulados ocurran aleatoriamente y reflejen las frecuencias teóricas que se están modelando. Por tanto, uno de los pasos bastante claros es identificar qué datos son necesarios para apoyar el modelo. Los modelos anteriormente descritos contienen información histórica que incluye demoras en el tiempo: tiempos entre llegadas, tiempos de proceso, tiempos de recorrido, programas de trabajo de equipos operando, cantidades de entradas y salidas e interacciones en las distintas etapas por las que la leche es procesada, etc. En algunos casos también se hace uso de estimación de probabilidades, tales como las proporciones de cada tipo de producto y los parámetros de operación.

#### **3.1 Fuentes de información**

Aquí, las fuentes de información son: bases de datos electrónicas, entrevistas a personas que trabajan en el sistema y observaciones propias, hasta tener un conocimiento pleno acerca del sistema real y su caracterización estadística.

##### **3.1.1 Estadísticos de prueba para determinar la bondad de ajuste**

Las pruebas de bondad de ajuste utilizadas en este proyecto para determinar la precisión de los datos muestrales fueron la Chi-cuadrada (CC) y la de Anderson-Darling (AD). La bien conocida prueba de Chi-cuadrada se basa en las diferencias obtenidas entre los

valores muestrales observados y los esperados. El estadístico de prueba se basa a su vez en el Teorema del Límite Central y está definido como (Ecuación 1):

$$X^2 = \sum_{i=1}^{\vartheta} \frac{(N_i - E_i)^2}{E_i} \quad (1)$$

dónde:

$\vartheta \approx$  Número de parejas muestreadas  
 $N_i \approx$  Número observado de muestras en la pareja  $i$  – ésima  
 $E_i \approx$  Número esperado de muestras en la pareja  $i$  – ésima

La prueba de Anderson-Darling está diseñada para detectar las discrepancias en los extremos de las distribuciones (colas). Es más poderosa que la de Kolmogorov-Smirnov cuando se tienen distribuciones alternativas. La prueba de Anderson-Darling está definida como (Ecuación 2):

$$\psi^2 = \frac{1}{\hat{F}_x(x)[1-\hat{F}_x(x)]}, \quad F_n(x) = \frac{N_x}{n} \quad (2)$$

dónde:

$n \approx$  Tamaño muestral  
 $\hat{F}_x(x) \approx$  Es la densidad de prueba (hipótesis nula)  
 $F_n(x) \approx$  Es la distribución de prueba (hipótesis nula)  
 $N_x \approx$  El número de  $x$ 's menores que  $x$

### 3.2 Productos Lácteos

A lo largo de lo descrito anteriormente se mencionó que un modelo de simulación permite lograr un mejor entendimiento de prácticamente cualquier sistema. Por ello, en este apartado resultó indispensable obtener la mejor aproximación de la realidad para entender lo que está sucediendo y por qué está ocurriendo. Con base en la información proporcionada por el Departamento de Organización y Métodos de la empresa, se construyó un modelo probabilístico secuenciado de operaciones.

La aleatoriedad del mismo viene dada en el sentido de considerar a los tiempos de operación de algunos equipos como variables aleatorias con función de densidad estimable y valores paramétricos obtenibles de las muestras dadas. Ejemplos de esto son las Tablas 1 y 2 junto con la Figura 2 obtenidas a partir del proceso de los datos colectados en el *Software BestFit v.4.5*.

Tabla 1 – Densidades usadas para modelar mensualmente los volúmenes de leche recibida

Mes	Distribución usada
Enero	N(28.7500, 5.0000)
Febrero	N(28.2500, 4.6800)
Marzo	N(28.2500, 4.5000)
Abril	N(28.5710, 4.5000)
Mayo	N(28.1140, 4.5000)
Junio	N(28.6630, 4.7000)
Julio	N(28.3120, 5.3000)
Agosto	N(28.9000, 5.2500)
Septiembre	N(28.7500, 4.8000)
Octubre	N(28.3500, 4.7990)
Noviembre	N(28.4190, 4.9250)
Diciembre	N(28.7500, 5.4000)

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 2, muestra ejemplos de distribuciones de probabilidad usadas para modelar la dinámica de operaciones de la plana. La nomenclatura usada en las tablas es como sigue: Distribución Normal (N), Distribución Triangular (T), Distribución Logarítmica (L) y Distribución Weibull (W).

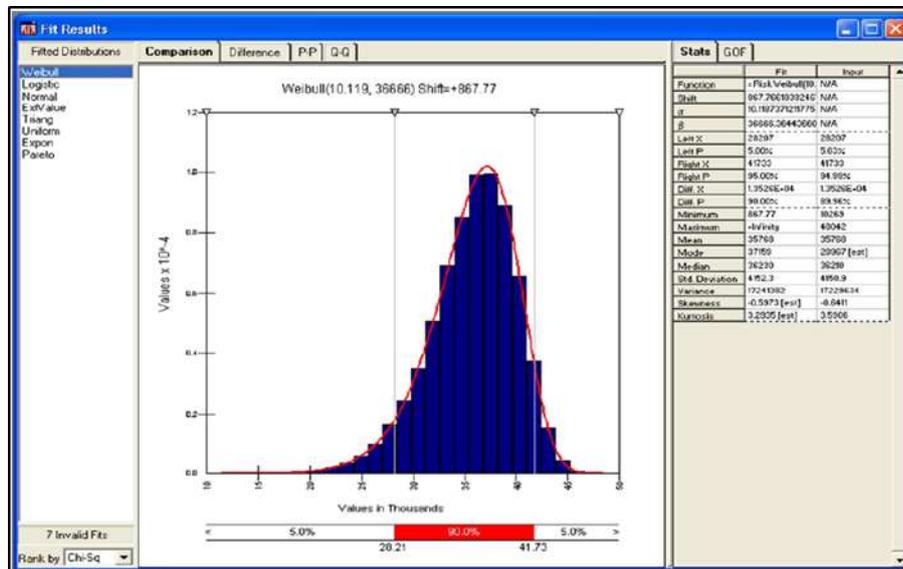
Tabla 2 – Densidades usadas para modelar la elaboración de productos

No.	Nombre del producto	Distribución usada (miles de litros)
1	Leche Clásica 1 lt.	L(229537.93, 6977.62)
2	Leche Light 1 lt.	W(10.119, 36666.36)
3	Leche Sabor Fresa 1 lt.	N(63342.21, 16008)
4	Yog. P/Beber 250 g. <i>Fresa Coco</i>	T(25967.76, 40661.22, 221153)
5	Yog. P/Beber 250 g. <i>Piña Coco</i>	L(130621.49, 47559.78)
6	Frutal UHT 250 ml. <i>Fresa</i>	T(0.65235, 0.00276, 35401.05)
7	Frutal UHT 250 ml. <i>Mango</i>	T(0.00276, 0.00276, 24286.53)
8	Yogurt C-Real 150 g. <i>Fresa Nuez</i>	U(1775.45, 3791.46)
9	Yogurt C-Real 150 g. <i>Durazno Nuez</i>	T(0.02711, 0.02717, 11662.38278)
10	Crema 200 g.	W(32.022, 1467150.23)
11	Crema 450 g.	W(7.0071, 858032.40)
12	Yogurt 150 g. <i>Fresa</i>	W(9.9070, 2013340)
13	Yogurt 150 g. <i>Durazno</i>	N(831686, 182164.92)

Fuente: Elaboración propia

Un ejemplo del análisis para la determinación de una distribución de probabilidad se muestra en la Figura 2, la cual describe una distribución Weibull en la variable Leche Clásica 1 lt.

Figura 2 – Distribución Leche Clásica 1 lt.



Fuente: Elaboración propia

Con los modelos probabilísticos obtenidos se construye una versión aleatoria del secuenciado de operaciones y se procede a su simulación por el Método Monte Carlo a fin de estimar las variables que representan cuellos de botella.

#### 4 DESARROLLO, VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN DEL MODELO

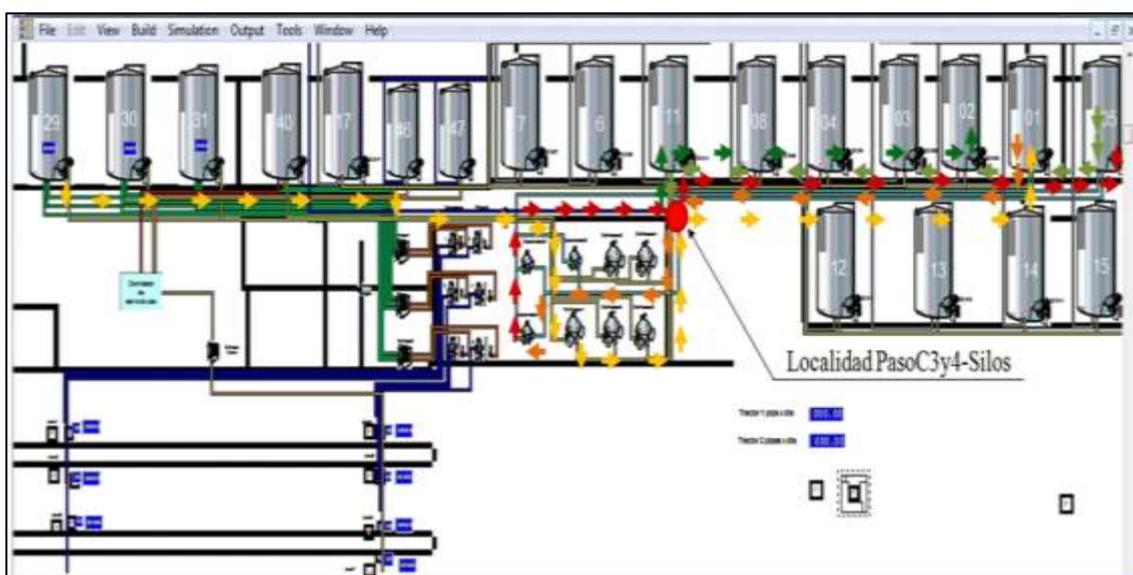
Kelton, Sadowski y Sturrock (2008) indica que la simulación por computadora se refiere a los métodos para estudiar una gran variedad de modelos de sistemas del mundo real mediante la evaluación numérica usando un *software* diseñado para imitar las operaciones o características del sistema, a menudo en el transcurso del tiempo. Una vez comprendido el comportamiento del sistema, se deberá pensar en cómo serán modeladas estas actividades. En intención de tener una comprensión integral acerca del uso del programa empleado para modelar el sistema, en este apartado se describe el programa a emplear para realizar el modelado y se muestra su desarrollo, validación y verifica.

##### 4.1 Empleo del programa *ProModel*

El empleo que se le da a *ProModel* en esta investigación inicia con la descripción del sistema hasta concluir con la visualización de distintos escenarios en condiciones normales de

operación y perspectivas futuras (GARCÍA; GARCÍA; CÁRDENAS, 2006). Es importante mencionar también que antes de iniciar la codificación en el ambiente de simulación, fue necesario representar, mediante diagramas de flujo todas las redes de los movimientos y operaciones de la planta productora de lácteos. Entonces para iniciar, se toman como guía los modelos conceptuales establecido anteriormente para construir los diagramas en *ProModel* en todas las distintas áreas de la empresa, cada sub-subsistema se presenta y analiza por separado. En la Figura 3, se ilustran los análisis del flujo de proceso de diferentes ejemplos de una de las áreas de producción de lácteos.

Figura 3 – Recorrido de las entides leche por el área recibo



Fuente: Elaboración propia

#### 4.2 Integración modular

Finalmente después de modelar, verificar y validar el diagrama de proceso de operaciones de cada uno de los sub-subsistemas y en cada una de las áreas de estudio (subsistemas: área recibo, área de producción de derivados y área de producción lácteos) dentro del software *ProModel*, los modelos fueron integrados en uno solo a fin de tener una cobertura total de la planta para constatar que el ejercicio realmente corresponde con el comportamiento del sistema real.

#### 4.3 Diseño de experimentos y pruebas de simulación con el modelo

Existen varias implicaciones prácticas antes de comenzar cualquier análisis. Idealmente se tiene que diseñar un conjunto completo de experimentos para identificar distintas

discrepancias de las cuales se debe estar consciente. Por lo que aquí se considera una estructura en la experimentación con base en el tipo de análisis comparativo, el cual busca, bajo un conjunto finito de diseños, la comparación para identificar soluciones que aborden los objetivos planteados.

Este tipo de análisis requiere la observación de los modelos predispuestos donde la preocupación es la comparación de un sistema con otro. Por ejemplo, para este tipo de estudio en el sistema, puede haber un aumento en el valor de los tiempos de inter-arribo de las entidades Leche a la planta, o se pueden incorporar paros por mantenimiento programados, etcétera. Lo anterior estaría encaminado a estimular la confianza al momento de tomar una decisión y poder hacer sugerencias a la empresa sobre las acciones que deberá seguir.

De acuerdo a lo descrito anteriormente, en el modelo se realizaron cuatro tipos de experimentos:

- En el primero se buscaba observar el comportamiento general del sistema con el fin de estimar el desempeño real del modelo.
- En el segundo experimento se evaluó el efecto del incremento de las entidades que arriban a la planta o a las distintas líneas de producción, como una consecuencia natural del aumento de la demanda de este tipo de productos.
- En el tercer experimento, se consideró una disminución de la capacidad de la planta debido a labores de mantenimiento en sus equipos.
- En el cuarto experimento se evaluó el efecto del aumento de la capacidad de la planta. La intención aquí, es evaluar el aumentar de la eficiencia de su infraestructura a fin de valorar los efectos producidos por remplazo de equipos actuales por otros de mayor capacidad (tanques, bombas, etc.).

En todos los casos se estimaron los siguientes valores de interés dentro del modelo de simulación:

- El tamaño promedio del número de productos terminados durante la prueba expresada en porcentaje.
- La utilización promedio de los equipos durante el tiempo simulado.
- Y se identificaron las localidades que provoquen la generación de cuellos de botella.

## 5 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Los resultados observados de los cuatro experimentos se describen en las siguientes líneas como sigue:

### 5.1 Experimento 1: Comportamiento general

Con el fin interesado de estimar el desempeño real del sistema, con cada uno de los niveles de la demanda, fue realizada una corrida de simulación. Aquí, se consideró una operación con 24 horas diarias y cada corrida recorre un periodo de tiempo de 10, 000 horas, lo que es aproximado a 1.14 años de producción. Lo anterior permitió estimar en forma cuantitativa los resultados mostrados en la Figura 4. Se puede observar que el reporte muestra un ejemplo de los distintos productos elaborados por las diferentes máquinas endosadoras, la información de mayor interés en este análisis corresponden a los datos de la columna de Valor Actual (*Current Value*), aquí cada unidad obtenida equivale a 1.000 unidades de producto.

Figura 4 – Primer experimento, corrida normal – *ProModel*

Variable Name	Total Changes	Average Minutes Per Change	Minimum Value	Maximum Value	Datos de interés	
					Current Value	Average Value
Productos FLEX 30	9083	66.05	0	9083	9083	4551.9
Productos M24	27306	21.97	0	27306	27306	13634.9
Productos B24	13825	43.38	0	13825	13825	6887.8
Productos H24	27428	21.87	0	27428	27428	13711.3
Productos TRAB 42	4541	132.11	0	4541	4541	2275.53
Productos S16	13838	43.35	0	13838	13838	6922.27
Productos H7	13750	43.63	0	13750	13750	6818.77
Productos Flex10 1 36	6949	86.31	0	6949	6949	3466.58
Productos Flex10 1 34	6949	86.31	0	6949	6949	3467.07
Productos TRB 1	6872	87.30	0	6872	6872	3409.95
Productos TRB 2	6873	87.29	0	6873	6873	3410.2
Productos TRB 3	6873	87.29	0	6873	6873	3410.49
Productos TRB	6872	87.30	0	6872	6872	3409.69

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 3, muestra el desempeño real del ejemplo anterior y describe el Valor Actual del total de entidades procesadas.

Tabla 3 – Desempeño real del modelo (corrida normal)

Descripción del equipo	Total unidades	Porcentaje
Productos FLEX 30	9.083	100%
Productos M24	27.306	100%
Productos B24	13.825	100%
Productos H24	27.428	100%

Descripción del equipo	Total unidades	Porcentaje
Productos TBA8 42	4.541	100%
Productos S16	13.838	100%
Productos B7	13.750	100%
Productos Flex10 1 36	6.949	100%
Productos Flex10 1 34	6.949	100%
Productos TR8 1	6.872	100%
Productos TR8 2	6.873	100%
Productos TR8 3	6.873	100%
Productos Ttop	6.872	100%

Fuente: Elaboración propia

Nótese que aquí (Tabla 3) el valor porcentual es equivalente al 100% para todos los equipos puesto que este valor fue tomado como base para hacer comparaciones entre los diferentes experimentos abajo descritos.

## 5.2 Experimento 2: Efectos del incremento de las operaciones de la Empresa, como una consecuencia natural del aumento de la demanda de los diferentes tipos de productos

Con el objetivo de tomar acciones necesarias que eviten o reduzcan consecuencias negativas, fue importante conocer como es el comportamiento de la empresa conforme aumenta la cantidad de leche que entra al sistema como una consecuencia natural del aumento de la demanda de este tipo de productos en el mercado.

Se supone que al aumentar el número de entidades (leche) que entran a la fábrica, también aumenta el número de productos terminados y la utilización de los equipos, pero ¿Cuál es la magnitud de estos incrementos?, mediante este modelo de simulación establecido, se pudieron estimar en forma cuantitativa estos valores. La Tabla 4, muestra los estadísticos colectados después de simular el sistema sin permitir que durante el ciclo total de la corrida se tenga un faltante de abastecimiento en los silos recibo (silos 29, 30 y 31), los cuales alimentan con entidades “Leche” al área de producción de lácteos.

Comparando los rendimientos obtenidos en la Tabla 3 con los de la Tabla 4, los resultados muestran que sólo algunos equipos (FLEX 30, TBA8 42 y B7) incrementan su rendimiento, a pesar de que la producción en la planta no se detiene por falta de entidades leche, además se observa como los porcentajes de eficiencia en su mayoría disminuyeron.

Tabla 4 – Desempeño real del modelo (corrida aumento de la demanda)

Descripción del equipo	Total unidades procesadas	Porcentaje equivalente
Productos FLEX 30	9.119	100.4%
Productos M24	27.201	99.6%
Productos B24	13.798	98.8%
Productos H24	27.428	100%
Productos TBA8 42	4.549	100.4%
Productos S16	13.766	99.5%
Productos B7	13.857	100.8%
Productos Flex10 1 36	6.910	99.4%
Productos Flex10 1 34	6.911	99.5%
Productos TR8 1	6.841	99.5%
Productos TR8 2	6.842	99.5%
Productos TR8 3	6.842	99.5%
Productos Ttop	6841	99.5%

Fuente: Elaboración propia

Aquí surge una pregunta importante, ¿Cómo se explica que en la mayoría de los equipos bajó su nivel de producción si nunca se paró ningún elemento por falta de producto? La respuesta a esta pregunta es simple y se describe así: Los equipos no se pararon por falta de producto sino todo lo contrario, debido a que se tenía flujo de producto constante los equipos con mayor tiempo de procesamiento o los de menor capacidad de conducción, fueron los que determinaron el ritmo de toda la cadena o línea de producción, es decir el eslabón más débil marcó el ritmo del sistema, lo que ocasionó que muchos equipos detrás de este eslabón se bloquearan y los equipos delante se mantuvieron ociosos.

Un ejemplo claro de lo anterior se muestra en la Figura 5, donde en equipo H24 está en operación sólo un 12% del tiempo simulado, mientras que el resto del tiempo se encuentra bloqueado debido a que le es imposible enviar producto a la siguiente etapa.

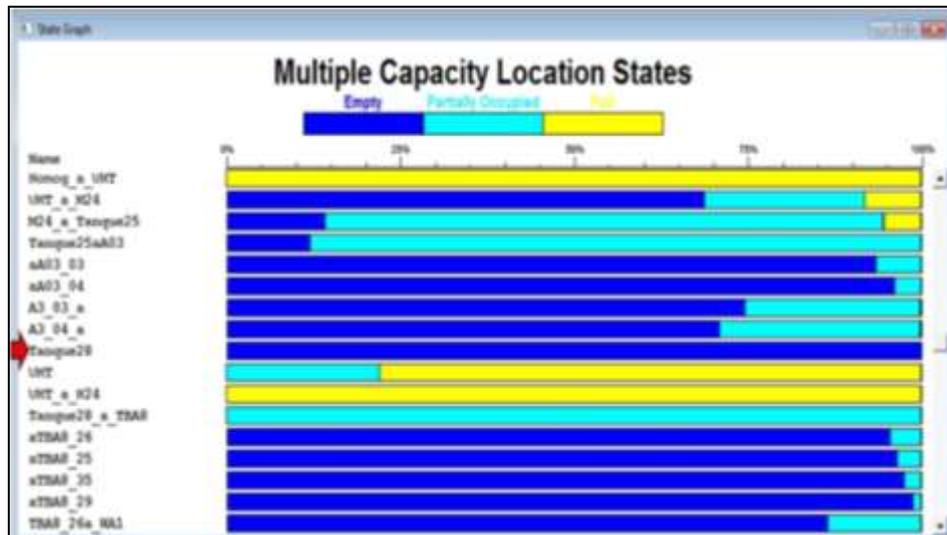
Figura 5 – Corrida con aumento de la producción (bloqueo del equipo H24)



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6, es posible observar como al hacer un experimento en el cual se aumente el nivel de la producción como consecuencia natural del incremento en la demanda de los productos, las líneas conductoras Homog\_a\_UHT y UHT\_a\_H24 y el equipo UHT siempre están llenos. Lo que nos indica que estos equipos son causa de crear cuellos de botella.

Figura 6 – Corrida con aumento de la producción (análisis de las capacidades múltiples)



Fuente: Elaboración propia

Después de las consideraciones anteriores, es posible deducir que equipos del sistema serán incompetentes en un futuro y por lo tanto candidatos a remplazo por algunos de mayor capacidad. Este ejercicio además, ilustra como un pequeño cambio en el sistema puede repercutir negativa o positivamente en la dinámica de operación de toda la planta productora de lácteos.

### 5.3 Experimento 3: Efectos de la reducción de la capacidad de planta, debido a labores de mantenimiento

Un paro provoca que un recurso o locación quede inhabilitada para operar, o fuera de servicio. Regularmente todos los días y cada semana, de manera alternada, los equipos de la empresa fabricante de productos lácteos son sujetos a labores de mantenimiento, en consecuencia, durante esas horas la empresa detiene el trabajo de sus equipos.

Esta situación origina que la capacidad de la empresa disminuya en aproximadamente doce operaciones por día y cinco por semana en espacios predeterminados de tiempo, con respecto a su capacidad normal. Es decir, su capacidad se reduce de 24 a 23 hora/día y de 168 a 164 hora/semana respectivamente. Con esta información y utilizando el modelo de

simulación establecido, se evaluaron los efectos de esta reducción en la capacidad de las operaciones de la empresa. Los resultados indican que los rendimientos obtenidos en la Tabla 5, están por debajo de la Tabla 3, es decir, los porcentajes de eficiencia disminuyeron.

Tabla 5 – Desempeño del modelo con labores de mantenimiento (corrida paros programados)

Descripción del equipo	Total unidades procesadas	Porcentaje equivalente
Productos FLEX 30	9024	99.4%
Productos M24	27030	99.0%
Productos B24	13705	99.1%
Productos H24	27428	100%
Productos TBA8 42	4512	99.4%
Productos S16	13740	99.3%
Productos B7	13667	99.4%
Productos Flex10 1 36	6794	97.8%
Productos Flex10 1 34	6794	97.8%
Productos TR8 1	6780	98.7%
Productos TR8 2	6780	98.6%
Productos TR8 3	6781	98.7%
Productos Ttop	6780	98.7%

Fuente: Elaboración propia

Esto resulta obvio después de saber que los principales equipos (silos recibo y silos proceso) fueron programados para su mantenimiento a diferentes periodos de tiempo.

#### 5.4 Experimento 4: Efectos del aumento de la capacidad de planta, a fin de evaluar remplazos de equipos en la Empresa productora de lácteos

Puesto que es deseable un mejor nivel de producción y observando cómo el número de equipos bloqueados aumenta cuando incrementa la entrada de entidades leche al sistema. La administración de la empresa, tiene la intención de aumentar la eficiencia de su infraestructura, con el objeto de manejar un mejor nivel de servicio.

La Teoría de Restricciones permite observar como un cuello de botella se asocia con una cadena de eventos, en la cual hay un componente que permite que ocurran menos eventos que el resto de los componentes. Entonces, sabiendo que el cuello de botella controla al sistema, en el modelo de simulación se identifican los recursos causantes de estos hechos haciendo un análisis sistemático en cada línea de producción a fin de incrementar su capacidad y observar los resultados.

Un ejemplo de cambio se hace en la localidad H24 en la cual se incrementó su capacidad a dos unidades procesadas a la vez, en lugar de sólo una. La segunda localidad

modificada corresponde al cambio de tiempo de la Clarificadora la cual pasa de 2.4 a 1.2 minutos/entidad procesada. Después de correr el modelo de simulación bajo las nuevas condiciones dadas, los resultados mostraron una mayor capacidad al incrementar el número de unidades procesadas (Tabla 6) comparadas con los valores obtenidos en la Tabla 3.

Tabla 6 – Desempeño del modelo aumento de la capacidad de planta (corrida incremento de capacidad)

Descripción del equipo	Total unidades	Porcentaje equivalente
Productos FLEX 30	18241	200.8%
Productos M24	54319	198.6%
Productos B24	27453	198.6%
Productos H24	54701	199.4%
Productos TBA8 42	9120	200.8%
Productos S16	27470	198.5%
Productos B7	27459	199.7%
Productos Flex10 1 36	13748	197.8%
Productos Flex10 1 34	13748	197.8%
Productos TR8 1	13685	199.1%
Productos TR8 2	13686	199.1%
Productos TR8 3	13686	199.1%
Productos Ttop	13685	199.1%

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los valores porcentuales de las Tablas 3 y 6, se observa que el principal beneficio de cambio en el sistema, se manifiesta en un incremento de los tamaños promedio en unidades producidas pasando del 100% al 199.13%; gracias a la eliminación de cuellos de botella el flujo de leche permanece constante y por tanto la utilización de los equipos aumenta y el porcentaje de ociosidad y bloqueo disminuye.

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A lo largo de este artículo se enfatizó la importancia de seguir el enfoque sistémico en conjunto con la simulación de sistemas por computadora.

Uno de los objetivos principales del presente trabajo fue el diseño, prueba y aplicación de un modelo de simulación para las operaciones de fabricación de una empresa productora de lácteos desde un enfoque sistémico. Presentamos aquí solamente un resumen del modelo ante la imposibilidad de describir el mismo en su totalidad dadas su complejidad y dimensiones. Se desarrolló un ejemplo de modelo validado cualitativa y estadísticamente que reproduce de manera satisfactoria la operación del sistema.

El modelo obtenido sirve para realizar análisis sin grandes complicaciones matemáticas o requerimientos especiales de cómputo; se demostró mediante este modelo de simulación que es posible estimar en forma cuantitativa los efectos o impactos esperados de cambios en la operación de la planta, se logró evaluar el rendimiento de la actividad productiva. Incluso se pudieron evaluar mejoras potenciales en su operación (determinación de la presencia de cuellos de botella).

Por otro lado, los resultados del análisis sugieren que la empresa estudiada tiene poco margen para incrementar sus operaciones industriales dentro de su espacio local. Aunque todavía se puede aumentar el número de operaciones diarias, el modelo de simulación estima que pronto se tendría un deterioro significativo en el nivel de operación de la empresa, lo cual incrementaría los riesgos de productos faltantes por falta de capacidad. Por otro lado, los resultados de las simulaciones indican que un pequeño aumento en la capacidad de algunos equipos, se traduciría en un aumento importante en el tamaño promedio de unidades producidas, en un mayor desempeño de los equipos y también en la disminución de notables problemas de saturación.

Tal como se observa, se enfatizó en que el análisis de un sistema complejo puede ser modelado mediante la fragmentación del sistema, el software adecuado y los datos indicados. Como hemos visto, a lo largo de este documento, el uso conjunto de la ingeniería de sistemas, el modelado y la simulación, son una herramienta poderosa y una opción exitosa al evaluar el rendimiento de la actividad industrial.

Por último, se espera que este documento refleje la importancia de la simulación tanto para alumnos, profesores como investigadores y empresarios hacia el involucramiento en la modelación y análisis de sistemas realistas y con un mayor grado de complejidad. En este artículo se puntualizó el uso de la herramienta *ProModel* como apoyo para la construcción de un modelo de simulación. Sin embargo, debido que los sistemas reales son muchos y muy variados, se invita al lector interesado en esta disciplina a explorar software como *FlexSim*, *DELMIA*, etc.

## **PROMODEL, A TOOL TO EVALUATE ALTERNATIVE PERFORMANCE INDUSTRIAL ACTIVITY**

**ABSTRACT:** Business firms have the need for clear lines of action glimpse into their production systems. The simulation guides the decision on the representation of different scenarios and time periods where the systems become complex due to the large number of variables in these interact. Therefore, the main contribution of this paper is to highlight the characteristics and circumstances under which it operates and is the dynamics of a dairy processing company using *ProModel* software. The study includes a review of the literature, concepts of modeling and simulation application areas, data analysis, construction of a simulation model, design of experiments and analysis of results. In conclusion, the document indicates that a small increase in the ability of some teams, would result in higher system performance.

**Keywords:** Production systems. Simulation. ProModel.

## REFERENCIAS

ACOSTA, F.J. **Ingeniería de Sistemas: un Enfoque Interdisciplinario.** (2<sup>a</sup> ed.), Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y humanidades de la UNAM, México: Alfaomega Grupo Editor, 2007, 220p.

ARBONES, M.E.A. **Ingeniería de Sistemas.** España: Marcombo Boixareu, 1991.

BANKS, J et al. **Discrete-Event System Simulation.** 4<sup>a</sup> ed., U.S.A.: Prentice-Hall, 2005.

BERNARD, Z.; GON, K.T.; PRAEHOFER H. **Theory of Modeling and Simulation.** (2a ed.), New York: Academic Press, 2000.

BERTALANFFY, L.V. **General Systems Theory: foundations, development, applications.** Nueva York: George Braziller. Editado en español, Teoría General de los Sistemas, México - Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica, 1969.

COSS, B.R. **Simulación: un enfoque práctico,** (20<sup>a</sup> ed.), Grupo Noriega Editores Balderas 95, Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México, D.F.: Limusa, p. 11-158, 2003.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administración de Producción y Operaciones.** (8<sup>a</sup> ed.), México, International Thomson Editores, p. 15-22, 2000.

GARCÍA, D.E., GARCÍA, R.H.; CÁRDENAS, B.L.E. **Simulación y Análisis de Sistemas con ProModel.** México: Prentice Hall-Pearson Educación, 2006, 280p.

KELTON, W.D.; SADOWSKI, R.P.; STURROCK, D.T. **Simulación con Software Arena.** (4<sup>a</sup> ed.), México: McRaw-Hill, Inc, 2008.

MACHUCA, D.J.A. **Dirección de Operaciones, Aspectos Tácticos y Operativos en la Producción de los Servicios.** Aravaca (Madrid): McGraw-Hill/Interamericana de Español, S.A.U, 1995, 503p.

VON NEUMANN, J. **John Von Neumann y los Orígenes de la Computación Moderna.**  
William Aspray: Gedisa Editorial, 1992.

Originais recebidos em: 30/04/2013

Aceito para publicação em: 24/06/2014