



## ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE PLANTA DE UNA EMPRESA FABRICANTE DE PRODUCTOS LÁCTEOS APLICANDO EL MÉTODO MONTE CARLO

M. en C. Isaías Simón Marmolejo, M. en C. Granillo Macías Rafael  
Ciudad Sahagún, Hidalgo, México, 773 1150765  
email: isaias\_simn@hotmail.com.  
rafael\_granillo@hotmail.com.

### RESUMEN

Se examina el papel de la programación del plan de la producción en la mejora de los resultados de la empresa y sugiere posibles consideraciones en la elaboración y aplicación de un planificador de capacidad finita. En él se analizan las ventajas y limitaciones de la simulación de sistemas de eventos discretos

mediante el método de Monte Carlo y sostiene la necesidad de una mayor investigación para desarrollar herramientas más versátiles. Se desarrollará una simulación basada en programación productiva bajo los principios de cuellos de botella para mantener bajos inventario; A través de diversos escenarios que muestren alternativas de solución.

### PALABRAS CLAVES:

Operaciones de producción, modelos de simulación (ProModel), diseño de experimentos y toma de decisiones.

### I. INTRODUCCIÓN

Actualmente es necesario que la industria de la transformación analice y estudie la capacidad de sus sistemas de producción con el fin de hacer frente a la demanda optimizando sus utilidades y, con el tiempo, contemplar la posibilidad de expandirse, para aumentar su mercado y brindar un mejor servicio de calidad y satisfacción de necesidades a los clientes de la misma.

La importancia de conocer la capacidad del sistema de producción radica en que este conocimiento define los límites competitivos de la empresa. De manera específica, establece la tasa de respuesta de la empresa a un mercado, su estructura de costos, la composición de su personal, y la estrategia general de inventarios. Si la capacidad no es adecuada, una compañía puede perder clientes, si su servicio es lento o si permite que entre la competencia al mercado. Si la capacidad es excesiva, es probable que la compañía tendrá que reducir precios para estimular la demanda, subutilizar su personal, llevar un exceso de inventario o buscar productos adicionales, menos rentables, para seguir en actividad.

Algunos conceptos importantes de la capacidad tienen que ver con su efectividad de operación, por ejemplo, un mejor nivel operativo, definido como el punto de la capacidad

donde es menor el costo promedio por unidad. De la misma forma, las economías de escala afectan su eficiencia, ya que, al aumentar el tamaño de una planta y su volumen, baja el costo promedio por unidad producida, puesto que cada unidad absorbe parte de los costos fijos.

Esta reducción en el costo promedio por unidad continúa hasta que la planta es tan grande que aumenta el costo de coordinar el manejo de personal y flujo de materiales; entonces, se llega a un punto donde hay que encontrar nuevas fuentes de capacidad. Es posible encontrar relaciones de concepto con el mejor nivel operativo cuando se compara el promedio por unidad de planta de tamaño diferente.

Es aquí entonces cuando la simulación que es la representación de la operación de algún proceso o sistema del mundo real a través del tiempo se vuelve una herramienta importante, ya sea hecha manualmente o en una computadora, involucra la generación de una historia artificial de un sistema y su observación para obtener inferencias relacionadas con las características operativas del sistema real. Aquí los modelos de simulación serán utilizados como una herramienta de análisis para predecir los efectos de cambios en sistemas existentes, o como una herramienta de diseño para predecir el comportamiento del sistema.

## II. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En esta sección se define el problema a resolver, los objetivos que se persiguen y se determina el modelo conceptual a utilizar.

### Problema a Resolver

Una de las fábricas productoras de lácteos de mayor importancia de México, observa problemas de saturación en líneas de proceso. Los problemas de congestión en la empresa de la Ciudad de México han planteado la posibilidad de construir o rediseñar la estructura de la empresa, cuyo costo será considerable, por lo que la solución de este tipo de problemas es innegablemente de gran importancia práctica. Cabe señalar que la empresa, ocupa el primer lugar en la producción de lácteos a nivel nacional pues opera una enorme planta la cual cuentan con más de 82,000 vacas en 180 establos y producen más de 2 millones de litros de leche al día en sus plantas pasteurizadoras así como la elaboración de 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, 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 sistémico mediante la modularización de segmentos que contemplen la investigación desde que se reciben las materias primas, el flujo del proceso hasta que el producto terminado es mandado a su respectivo almacén, por lo que se plantea ahora la necesidad de desarrollar un modelo de simulación que permita hacer este tipo de evaluaciones.

### 2.2 Objetivos.

El objetivo general de este trabajo es desarrollar el estudio de análisis de capacidad de planta desde una perspectiva aleatoria en una empresa fabricante de productos lácteos utilizando el método Monte Carlo. Los resultados que se obtengan serán 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.

Para alcanzar el objetivo general planteado, se enlistan a continuación los respectivos objetivos específicos:

- Analizar la dinámica de operación de la planta, a fin de comprender la inter relaciones que se dan entre los departamentos de compra, manufactura y embarque.
- Determinar las cantidades, presentaciones, envases y contenedores de los productos fabricados en la empresa para establecer las variables de entrada del sistema que representa la producción de lácteos.
- Elaborar los modelos Estadístico-Matemáticos de la operación de planta y validarlos con el personal técnico de la misma con el objeto de asegurar su eficacia.
- Elaborar y validar el correspondiente modelo de simulación del proceso de producción.
- Evaluar la capacidad nominal de planta actual, y calcular la capacidad real e instalada utilizando el modelo de simulación, desarrollado en el inciso anterior.
- Analizar los escenarios solicitados por la empresa sobre la operación de planta utilizando el modelo de simulación.
- Presentación de resultados.

### 2.3 Conceptualización del Modelo.

Se puede asumir 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. Aunque el conjuntos de camiones se ubican en lugares distintos, utilizan los mismos servidores, por lo que están ordenados en una secuencia definida, formando una sola cola imaginaria, de acuerdo con el momento en que arriban a la planta solicitan su servicio. A este tipo de secuencia para atender a los camiones se le conoce como el principio de "la primera que llega es la primera que se atiende" (primeras entradas primeras salidas, PEPS; o por sus siglas en inglés FIFO). Por otro lado, ya contenida la leche descargada de los camiones se deposita en los silos principales los que dan auge al flujo de proceso desglosado en distintas áreas hasta que el producto terminado es mandado a sus respectivos almacenes. Dado que la capacidad de una empresa se define como, la cantidad de productos o servicios que pueden ser obtenidos por una determinada

unidad productiva durante un cierto periodo de tiempo, la organización deberá adecuarse a la capacidad necesaria o carga en función de la demanda que la empresa desee satisfacer en el futuro.

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.

En la Fig. 1, se ilustramos simplemente el análisis con un acercamiento gráfico, respecto al enfoque sistémico de la planta productora de lácteos.

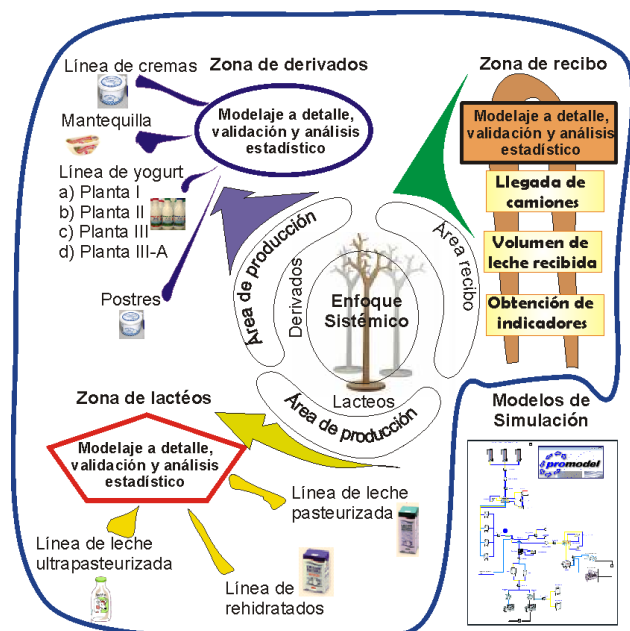


Figura 1. Perspectiva gráfica referente a la modularización del sistema.

Las ideas anteriores constituyen la base del modelo conceptual del sistema bajo estudio. Nótese que aunque el modelo conceptual anterior está referido a esta planta de estudio en específico, dicho modelo puede servir para cualquier empresa en la que apliquen las suposiciones y condiciones antes mencionadas.

### III. INFORMACIÓN ESTADÍSTICA DE LAS OPERACIONES

En este proyecto, se estudian, miden y cuantifican en forma de distribuciones de probabilidad los tiempos de llegada o arribo de camiones, los rendimientos específicos de la pro-

ducción en línea y se localizan los cuellos de botella que ahorcan el paso del flujo restringiéndolo para el proceso final. Con base en la información proporcionada por el Departamento de Organización y Métodos de la empresa, se construye un modelo probabilístico de secuenciamiento 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 parametrales obtenibles de las muestras dadas. Con los modelos probabilísticos obtenidos se construye una versión aleatoria del secuenciamiento de operaciones y se procede a su simulación por el Método Monte Carlo a fin de estimar las variables que representan a los cuellos de botella y su significado.

### 3.1 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 serán la Chi-Cuadrada (CC) y la prueba 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 definida como;

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

Donde:

- $\vartheta \approx$  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

Una prueba más que se usa para estimar la calidad del ajuste de datos muestrales a una densidad dada es la de Anderson-Darling. Esta prueba 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;

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

donde:

- $n \approx$  Tamaño muestral
- $f_X(x) \approx$  es la densidad a 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 Método de Estimación Parametral Usado

La técnica usada para evaluar los valores parametrales de las densidades propuestas será la de la máxima verosimilitud. Ésta se define como la función que maximiza la probabilidad de la distribución dado un conjunto de muestras dadas que dependen de un parámetro  $\theta$ . El estimador de máxima verosimilitud usado en este proyecto se define como;

$$\text{Max}_{\theta} g(X, \theta) = \prod_{i=1}^n f_X(X, \theta) \quad (3)$$

### 3.3 El Concepto de Capacidad de Planta

Dado el interés de este análisis, centrado en la determinación de la capacidad de planta, a continuación se definen los conceptos usados a lo largo de este informe:

Capacidad de diseño (CD): Es la máxima tasa posible de producción para un proceso, dados los diseños actuales de producto, mezclas, políticas de operación, fuerza laboral, instalaciones y equipo.

Capacidad efectiva (CE): Es la mayor tasa de producción que se puede obtener en forma razonable (considerando tiempos de mantenimiento preventivo y cambios de serie) dadas las limitaciones del sistema.

Capacidad real (CR): Es la tasa de producción efectiva lograda por el proceso y, normalmente, es una función del tiempo ya que cambia constantemente. Se ve afectada por el uso y desgaste del equipo, desperdicios y retrabajo, montaje limitado de maquinaria, ausentismo de empleados, programación deficiente y otros factores similares que contribuyen a disminuir las tasas reales de capacidad.

Matemáticamente se verifica que;

$$CD > CE > CR, \quad (4)$$

Además, con base en las definiciones dadas, se pueden obtener indicadores de uso tales como el factor de utilización de la capacidad y la eficiencia de uso definidos como;

$$\text{Factor de utilización} = \frac{\text{Capacidad real}}{\text{Capacidad de diseño}} = \frac{CR}{CD}, \quad (5)$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Capacidad real}}{\text{Capacidad efectiva}} = \frac{CR}{CE}, \quad (6)$$

## IV. COMPORTAMIENTO GENERAL DE LAS OPERACIONES

Se hace una revisión de los datos estadísticos tanto de históricos como colectas durante visitas consecutivas a la planta de las operaciones de recepción y fabricación, durante el año de 2008 y parte del 2009, el cual indica que el número de operaciones totales por mes, tiene muy poca fluctuación.

Para el análisis del proceso global se identifican las siguientes áreas de importancia para el estudio del mismo.

1. Área de recibo
2. Área de producción de lácteos
  - a) Línea de leche pasteurizada
  - b) Línea de leche ultrapasteurizada
  - c) Línea de rehidratado
3. Área de producción de derivados
  - a) Línea de crema
    1. Crema para batir
  - b) Mantequilla
  - c) Línea de yogurt
    1. Planta I
    2. Planta II
    3. Planta III
    4. Planta III-A

El proceso del yogurt se divide de acuerdo a la presentación en la que se va a producir. Se cuentan con cuatro plantas para este proceso. La planta I se utiliza para el proceso de yogurt para beber y frutal; en la planta II se procesa el yogurt batido, C-real y cremoso; en la planta III se procesa el yogurt batido, yogurt para beber y frutal; finalmente, en la planta III-A se procesa el yofrut, además, por esta línea también se procesa y envasa la leche tetrapop y la leche frutal.

## V. DESARROLLO DEL MODELO EN UN PROGRAMA DE COMPUTADORA, VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN.

En este apartado, se establece el programa de cómputo que será utilizado, se formula el modelo mediante un diagrama de flujo y se procede después a la etapa de codificación describiendo las operaciones unitarias que forman al proceso de producción de lácteos y derivados, modelados posteriormente en ProMODEL. También aquí se realizan pruebas piloto y por último se procede a la validación y verificación del modelo.

### 5.1 Análisis de Capacidad de Planta

En esta sección se planean los experimentos a realizar con el modelo de simulación y se efectúan las corridas necesarias para los experimentos propuestos, con el objeto de obtener los valores de interés y finalmente se analizan los resultados.

En la Fig. 2, se ilustramos el análisis del flujo de proceso para el área de producción de derivados/Línea de yogurt/Planta I, en una hoja de Excel donde se desglosan los componentes y características del mismo.

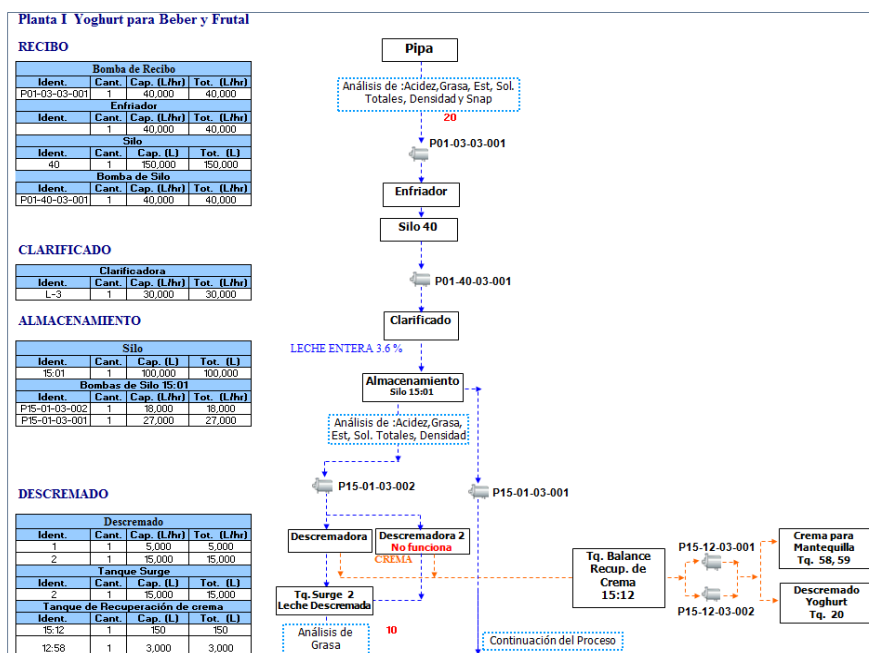


Figura 2. Modelación y Análisis de Flujo Excel

En la Fig. 3, se ilustramos el mismo análisis del flujo de proceso anterior para el área de producción de derivados/Línea de yogurt/Planta I, pero ahora modelado con el software ProModel donde se desglosan los componentes y características del mismo.

Ya que se tiene el análisis de información del área de producción derivados, se modela y valida el diagrama de proceso de operaciones para constatar que el ejercicio realmente corresponde con el comportamiento del sistema. Este proceso de diagramado se repetirá para todas y cada una de las áreas de estudio a fin de tener una cobertura total de la planta, ya terminado esto lo siguiente corresponde a un ensamble total del las distintas áreas para validar y corrob-

rar el comportamiento del sistema simulado con los hechos reales.

### 5.2 Efectos del Incremento de las Operaciones de la Empresa, como una Consecuencia Natural del Aumento de la Demanda de los Diferentes Tipos de Productos.

Ya que se tiene modelado el sistema representativo de la planta. Es importante conocer cómo es el comportamiento de la planta productora de lácteos de la Ciudad de México.

Conforme aumenta el número de operaciones, con el objeto de tomar las acciones necesarias, para evitar o reducir sus consecuencias negativas, como son entre otras: Efectos del aumento de la capacidad de planta de la Empresa, Efectos de la reducción de la capacidad de planta, la programación de ordenes de producción, los mantenimientos necesarios, etcétera.

### 5.3 Variante del Modelo de Simulación, para el Análisis de las Operaciones por Áreas de Estudio.

En esta sección se desarrolla un modelo de simulación que hace una distinción entre diferentes órdenes de producción y se realizan experimentos, con él.

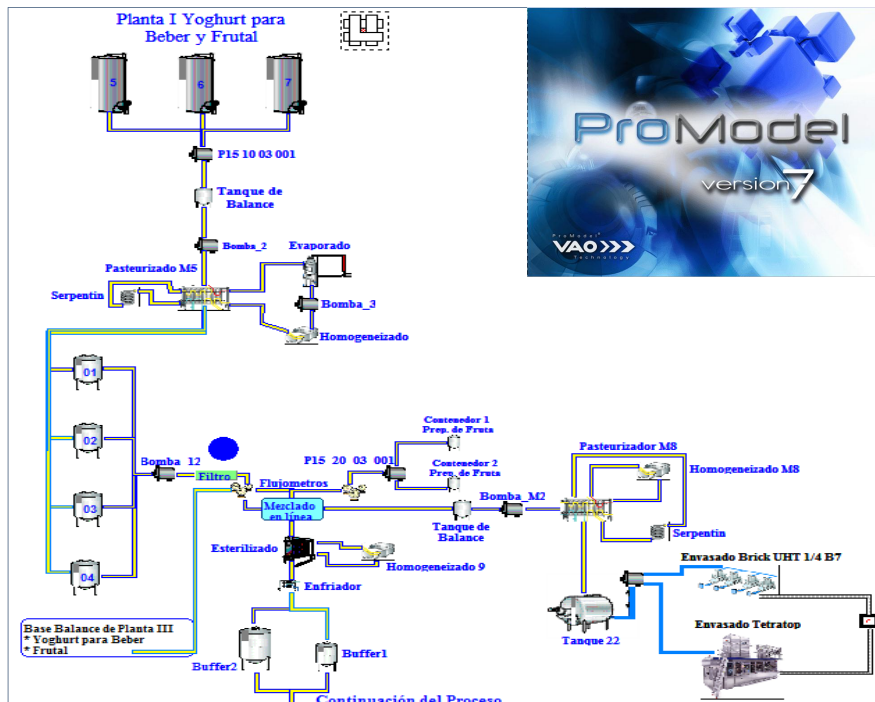


Figura 3. Modelación y Análisis de Flujo con el software ProModel.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En este trabajo se establece un modelo de simulación para las operaciones de la planta productora de lácteos de la Ciudad de México, dentro del intervalo de mayor actividad. Mediante este modelo de simulación es posible estimar en forma cuantitativa los efectos o impactos esperados de cambios en la operación de la planta. De esta manera el modelo de simulación es una herramienta para evaluar el rendimiento de la actividad productiva de la planta bajo estudio, e incluso para evaluar mejoras potenciales en su operación, así como determinar la presencia de cuellos de botella.

## VII. REFERENCIAS

- [1] Bernard Zeigler, George Ball, Hyup Cho, J.S. Lee, y Hessam Sarjoughian. Bandwidth Utilization/Fidelity Tradeoffs in Predictive Filtering. En Proceedings of 1999 Spring SIW. SISO, 1999.
- [2] Bernard Zeigler y J.S. Lee. Theory of quantized systems: formal basis for DEVS/HLA distributed simulation environment. En SPIE Proceedings, 1998, 49-58 p.
- [3] Bernard Zeigler. Theory of Modeling and Simulation. John Wiley & Sons, New York, 1976.
- [4] George S. Fishman. Discrete-Event Simulation, Modeling, Programming, and Analysis. New York, Inc. Springer-Verlag, 2001. 537 p.
- [5] Eduardo G. D., Heriberto G.R., Leopoldo E. C. Sistematización y Análisis de Simulación con ProModel. Estado de México. PEARSON EDUCACIÓN, México 2006. 280 p.
- [6] José Antonio Domínguez Machuca. Dirección de Operaciones, Aspectos Tácticos y Operativos en la Producción de los Servicios. Aravaca (Madrid). McGRAW-Hill/INTERAMERICANA DE ESPAÑOL, S.A.U. 1995. 503 p.
- [7] Jerry Banks, Johan S. Carson, II Barry L. Nelson, David M. Nicol. Discrete-Event System Simulation, 3rd ed. United States of America. Prentice Hall, 1999. 594. p.
- [8] Jesús A.F. y Otros, Ingeniería de Sistemas un Enfoque Interdisciplinario. Estado de México, ALFAOMEGA S.A. de C.V., 2005 220 p.
- [9] Maurice Eyssautier de la Mora. Metodología de la Investigación, Desarrollo de la Inteligencia. 4ta ed. México. CCAFS Thomson Learning. 2002. 316 p.
- [10] Roger G. Schoeder. Administración de Operaciones, Conceptos y Casos Contemporáneos. México D.F. McGRAW-Hill/INTERAMERICANA, 2005. 736 p.
- [11] Raúl Coss Bu. Simulación, Un Enfoque Práctico, México D.F. LIMUSA, S.A DE C.V., 2005. 158 p.