

# **Herramienta de Entrenamiento para la Toma de Decisiones en una Línea de Manufactura**

**Eduardo García Dunna**

ITESM Campus Monterrey, Monterrey, Nuevo León, México, eduardo.garcia.dunna@itesm.mx

**Heriberto García Reyes**

ITESM Campus Monterrey, Monterrey, Nuevo León, México, heriberto.garcia@itesm.mx

**Jesús Octavio Rangel López**

ITESM Campus Monterrey, Monterrey, Nuevo Leon, México.

## **RESUMEN**

Actualmente el desarrollo de herramientas que fortalezcan los procesos de tomas de decisiones se ha convertido en factor clave para las empresas, principalmente por el poco tiempo disponible para tomar la decisión y lograr un nivel de desempeño mínimo esperado. En muchos problemas es difícil entender la interacción de las variables con la medición final del desempeño. Más aun, la toma de decisiones crece en complejidad a medida que el número de variables consideradas para el análisis se incrementa. Entre más variables se requiera modificar, más difícil será determinar cual de ellas y como afectan el desempeño obtenido. Este trabajo presenta un juego de manufactura, que permite analizar las implicaciones de las decisiones tomadas usando simulación. La interfase de este juego fue desarrollada en excel, el cual intercambia datos con un modelo de simulación en ProModel. El desempeño obtenido por los participantes se evaluó en una escala de 0 a 100 puntos. El impacto del entrenamiento para la toma de decisiones fue validado con una curva de aprendizaje obtenida de los resultados de los participantes. Las principales causas que afectan el desempeño del proceso fueron registradas antes y después de jugar varias ocasiones para contrastar los beneficios obtenidos del juego.

**Palabras claves:** Toma de decisiones, simulación, entrenamiento

## **ABSTRACT**

Nowadays, the development of tools oriented to strenght the decision making process in an enterprise is a key factor due the response time required for the managers decisions in order to accomplish some minumum performance expected. For many problems, it is difficult to understand all the variables interactions related with the output performance measure. Moreover, the decisions making process grow in complexity as the number of variables included in the analysis increase. The more the process variable changes the more difficult to identify which variable or variables are the reason of the obtained performance. This work presents a manufacturing game which through a simulation program allow to understand the implication of the decisions during the game. The game's interface was built over an excel file interchanging data with a ProModel file. The performance results was scored for each participant over a 100 points scale. Training impact was validated with a learning curve showing better decisions as the game was played. The principal performance factors was detected and reported by the particpants after several games played as a prove of the game benefits.

**Keywords:** Decision making, Simulation, Training

## **1. INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, el desarrollo de herramientas capaces de apoyar y fortalecer el proceso de toma de decisiones en una compañía se vuelve un factor clave. Las decisiones pueden implicar grandes beneficios o pérdidas dependiendo de cómo son tomadas, principalmente cuando estas decisiones implican ajustes para el mejoramiento del desempeño de diversos sistemas críticos tales como la cadena de suministro, el diseño de productos y procesos (Blackhurst et al., 2005), la selección de equipo (Gopalakrishnan et al., 2004), y administración del conocimiento corporativo (Haseman et al., 2005) entre otros. Esto se debe a que el tiempo disponible para reaccionar ante un cambio en las variables que impactan en el desempeño de los sistemas y realizar los ajustes necesarios para mantener un cierto nivel requerido es muy corto. Por otro lado, en muchos problemas es difícil entender la interacción de estas variables con la medición final del desempeño. Más aun, la toma de decisiones crece en complejidad a medida que el número de variables consideradas para el análisis se incrementa. Entre más variables se deban controlar y/o modificar será más difícil determinar de que manera y cual o cuales de ellas afectan el desempeño obtenido (Orsoni et al., 2001). Esto hace que la modelación de un sistema de apoyo para la toma de decisiones requiera de herramientas que permitan considerar la complejidad inherente a este tipo de problemas. Una de las mejores herramientas de modelación para sistemas complejos es la simulación, la cual permite generar y explorar posibles soluciones a los problemas u obtener proyecciones, predicciones y comparaciones entre diseños de procesos en desarrollo (Hicks, 1999).

Aun y cuando una empresa pueda desarrollar un sistema de apoyo para la toma de decisiones robusto, la efectividad y eficiencia en la aplicación del mismo dependerá de la experiencia del usuario. Sin embargo, este puede cambiar de trabajo, de puesto, retirarse o incluso ausentarse temporalmente por vacaciones con lo que toda su experiencia en muchos casos no estará disponible y un nuevo usuario tendrá que aprender a tomar decisiones bajo las reglas desarrolladas previamente (Haseman et al., 2005). Este hecho abre la oportunidad para diseñar y desarrollar herramientas de apoyo que permitan el entrenamiento en el uso y aplicación de un sistema de apoyo para la toma de decisiones, de tal manera que el impacto en la introducción de un nuevo usuario sea minimizado. Este trabajo presenta un juego de manufactura, el cual utiliza un modelo de simulación para analizar las implicaciones de las decisiones tomadas por los jugadores, esto con la finalidad de capacitarlos para la toma de decisiones en un sistema de envasado de bebidas que cuenta con varios productos y varias presentaciones o tamaños de cada producto.

## **2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

No todos los problemas en las empresas se deben a las capacidades de las máquinas o al tipo de personal que las opera. Los problemas pueden también deberse a las malas decisiones tomadas por los administradores ante los cambios en los parámetros de operación de un sistema. Esto se debe entre otras cosas a la pobre calidad de la información que se utiliza para tomarlas, esta generalmente está mal estructurada y es provista en grandes cantidades que impiden su análisis posterior usando modelos matemáticos o simulaciones (Centeno y Carrillo, 2001). En muchos casos la falta de información hace que se tomen decisiones poco sustentadas o basadas en la experiencia las cuales no siempre son las más adecuadas. La situación se complica aun más cuando el problema es complejo, lo cual implica que se tienen que tomar decisiones sobre una gran cantidad de variables relacionadas entre sí y que impactan directamente en el desempeño de un sistema. Esta complejidad para identificar el impacto colectivo de un cambio en las variables de proceso hace relevante el desarrollo de sistemas de apoyo para la toma de decisiones.

### **2.1 REVISIÓN DE LITERATURA**

En los últimos años las empresas han buscado medios para incrementar su ventaja competitiva, desarrollar mejores procesos de solución de problemas, mejorar la calidad de la solución obtenida y las operaciones de negocio relacionadas con esta solución. Una herramienta que puede lograr esto es un sistema de toma de decisiones, el cual incluye este conocimiento transformándolo en reglas de decisión (Owens y Philippakis, 1995). Dada la dinámica de los mercados y los niveles de competencia actual los tomadores de decisiones requieren de sistemas más complejos que aquellos que solo colectan datos y los presentan organizados y resumidos. Se requiere de sistemas capaces de proveer rápida y efectivamente un análisis de escenarios futuros ante las

decisiones que se puedan tomar (Forgionne, 1988). Dentro de los sistemas de toma de decisiones La investigación en esta área se centra comúnmente en como mejorar la eficiencia en el tiempo para tomar una decisión y la efectividad de la decisión tomada (Pearson *et al*, 1995). Para algunas empresas de manufactura, la competencia a la que se enfrentan ante la globalización de los mercados y el rápido desarrollo de sistemas de información ha generado cambios importantes en la manera de hacer negocios. Hoy en día muchas de estas empresas se han concentrado en desarrollar un proceso sistemático de generación de conocimiento enfocado a aportar valor a sus clientes por medio de sus productos y/o servicios (Lau et al., 2001). Este proceso de generación de conocimiento se vuelve más complicado que en el pasado, esta complejidad se debe a la necesidad de considerar más ampliamente factores suaves que tienen que ver con la cultura de la empresa, su organización interna y aspectos éticos que anteriormente no eran considerados con tal nivel de detalle.

El reto en este sentido es lograr desarrollar sistemas de soporte para la toma de decisiones que no solo contemplen modelos matemáticos, sino que permitan considerar factores suaves como los antes mencionados; Al incorporarlos, permitirá consolidar este tipo de enfoque dentro de la empresa y aportarle grandes beneficios (Shim et al., 2002). Dada esta complejidad un elemento clave para poder representar la relación entre las variables de decisión es la modelación del sistema, en este sentido la simulación es una de las mejores herramientas que permite representar esta complejidad en un modelo, de una manera que pueda ser entendida con mayor facilidad por los analistas. Más aun, en una simulación no se requiere realizar demasiadas suposiciones con la finalidad de simplificar el problema como en los métodos analíticos lo que le permite tener una representación más cercana a la realidad. Además, una vez que el modelo se construye puede ser usado tantas veces sea necesario para realizar análisis e incrementar el conocimiento del sistema (Centeno y Carrillo, 1996). En los últimos años, la relación de simulación y sistemas de apoyo para la toma de decisiones se ha fortalecido de tal manera que se han realizado muchas investigaciones al respecto. Esto ha generado un gran interés en el desarrollo de paquetes de simulación que puedan tener la facultad de analizar escenarios para proveer información para la toma de decisiones. Estos paquetes se enfocan entre otros aspectos a lograr la optimización por medio de la repetición de simulaciones, probar diversas políticas óptimas de control, o la evaluación y comparación del desempeño de diferentes alternativas (Guariso et al. 1996). El problema bajo estudio se relaciona principalmente con este último elemento de evaluación y comparación orientado al entrenamiento en la toma de decisiones en un sistema de envasado de bebidas.

## **2.2 SISTEMA DE EMBOTELLADO**

Para el caso particular de una empresa embotelladora, la problemática se presenta al tener que decidir sobre los parámetros de operación de las líneas de embotellado, estos parámetros dependerán de los diversos productos que serán procesados. Las decisiones relevantes implican como modificar estos parámetros de operación cuando las presentaciones de los envases de los productos cambian, implica cambios de velocidades de la línea, además de ajustes en los parámetros del tiempo de llenado y otras variables que complican la decisión sobre que parámetros modificar para obtener un desempeño deseado. La necesidad de tomar decisiones acertadas y con rapidez, se vuelve crítica cuando se presentan varios cambios de producto en las líneas de llenado al mismo tiempo. En una empresa como esta en donde las velocidades de llenado son tan rápidas que hacen que la demora en la decisión de una modificación en los parámetros de operación de la línea o en un cambio de producto sean cruciales para lograr el mejor aprovechamiento de los recursos y alcanzar o no los requerimientos de producción deseados. Por ello es de suma relevancia tener no solo sistemas de apoyo para tomar la decisión sino personal capaz de reaccionar e interpretar la dinámica del sistema de embotellado que ellos administran. Dada esta necesidad se decidió crear una herramienta que pudiese proveer de capacitación para los tomadores de decisiones de las líneas de embotellado de tal manera que al momento de enfrentar las problemáticas cotidianas pudiesen reaccionar rápida y eficientemente ante la dinámica del proceso, ajustando los parámetros de operación del sistema y tomando las decisiones necesarias para obtener los mejores beneficios para la empresa.

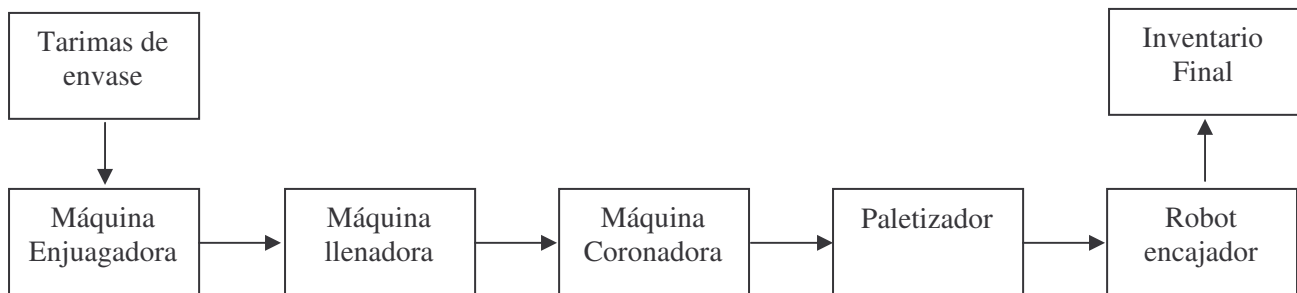
## **2.3 ALCANCES Y LIMITACIONES**

El Proceso de envasado contempla diversas etapas dependiendo del tipo de líquido que se desee envasar. Sin embargo, comparten procesos como lavado o purificación del envase, preparación del líquido a envasar, llenado del envase y almacenamiento. Para el desarrollo de esta herramienta se decidió utilizar un sistema de llenado de

bebidas carbonatadas dada la cercanía de una empresa de este tipo en la localidad y la posibilidad de que personas con conocimiento de este proceso pudiesen participar en la experimentación una vez terminado el desarrollo de la herramienta. Por otro lado, esto también reduce el número de posibles participantes para realizar dichos experimentos. Dentro del sistema de envasado de bebidas carbonatadas se considero contemplar el embotellado en vidrio, envasado en latas y Pet dado que son de los más comunes para este tipo de producto. Finalmente, la herramienta desarrollada estará orientada al entendimiento del sistema de llenado y a la capacitación para la toma de decisiones ante los niveles de operación obtenidos. No se tiene como objetivo directo en el desarrollo del juego la optimización del proceso global usando herramientas analíticas de optimización aunque no se descarta la posibilidad de integrar un módulo que permita hacer este tipo de análisis en un futuro.

### 3. DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE LLENADO

Como primer paso en el desarrollo de esta aplicación se procedió a definir el sistema a modelar, para ello se investigó sobre el proceso industrial de embotellado. Esta investigación se orientó a darle la mayor similitud posible a los escenarios que se definirían en el juego. Con esta información se generaron diagramas de flujo de proceso que permitirían generar el modelo base, posteriormente se investigaron parámetros de operación sobre estos procesos en la industria. Con esta información se analizó la conveniencia de incluir todo el sistema o solo una parte de él en el juego. La decisión que se tomó fue incluir solo el proceso de llenado de envases, esto con la finalidad de disminuir el número de etapas a incluir en el juego y por consecuencia la complejidad de la manipulación de la herramienta. Considerando está frontera del sistema bajo estudio se asumió que el proceso de preparación de la bebida y el de provisión del envase serían solo proveedores de la línea de llenado que no sufrirían desabasto y que podrían satisfacer la demanda de la línea de llenado de envases en cualquier momento que se requiriera. La siguiente figura muestra las etapas consideradas para uno de los procesos de llenado de envases.



**Figura 1. Flujo de Envasado considerado en el modelo.**

Posteriormente a la definición del sistema a modelar en el juego, se decidió considerar la variación entre líneas de producción. Para ello se incluyeron 5 líneas de envasado, de estas una se dedico a envasado en latas, 3 para envasado en Pet (una para cada presentación de tamaño) y una para envasado en botella de vidrio. Para la línea de latas se consideró un solo tamaño de lata y 5 productos o sabores diferentes, para las líneas de Pet se consideraron 3 tamaños y 5 productos diferentes, y para la línea de vidrio solo se consideró una presentación y un producto. Una vez definidos los productos y sus respectivas presentaciones, se procedió a definir las capacidades y distribuciones de probabilidad asociadas a cada etapa del proceso a simular. Para ello se definieron los tiempos de llegada de las tarimas con envase para cada línea de llenado, así como la cantidad de envases de cada tarima. Así mismo se definieron los tiempos de procesos para cada etapa del modelo. Para fines del juego estos se asumieron normales, con diferentes medias y varianzas para cada línea de llenado. Como parte del modelo se incluyó un robot cuyo tiempo de operación se asumió constante. Finalmente se definieron los niveles de los tanques de provisión del concentrado para la bebida. Dado que este proceso es de flujo continuo se consideró que cada etapa se conectaba por medio de una banda de capacidad infinita que serviría también como almacén de producto en proceso.

#### 4. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA

Dada la complejidad del sistema que se deseaba modelar se seleccionó usar simulación como plataforma para generar escenarios de trabajo. Principalmente por la capacidad de un modelo de simulación de representar sistemas complejos y dinámicos como lo es una línea de embotellado (O'Kane, 2004). Después de analizar varios paquetes de simulación se decidió usar ProModel como programa de simulación debido a su facilidad de programación y su capacidad para interactuar con otros programas por medio de aplicaciones de Visual Basic (García et al., 2006). Este hecho representa una ventaja dado que uno de los retos de usar simulación como herramienta de apoyo para la toma de decisiones radica en que no cualquiera domina un lenguaje de simulación en particular. Esto podría provocar rechazo ante los usuarios debido al tiempo que tomaría aprender el lenguaje o escepticismo por considerar que los procesos a modelar son muy complejos (Centeno y Carrillo, 2001). Como estrategia para facilitar el uso del juego se utilizó una interfase desarrollada en excel que es un paquete comúnmente usado en la industria y la academia. Investigaciones recientes han demostrado que a medida que la tecnología es más sencilla de operar, los usuarios tienden a rechazarla menos (Workman, 2005). Por otro lado, tanto Excel o como algún otro paquete con características similares son comúnmente usados en la industrial para manejar información, hacer análisis de datos o tomador de decisiones. Además, dada su capacidad para utilizar aplicaciones de Visual Basic resulta ideal para intercambiar datos con ProModel. Una vez seleccionados los paquetes a utilizar se definieron los módulos que se integrarían en la interfase. Esto con el objetivo de que el usuario fuese alimentando datos y tomando decisiones de manera secuencial. Los módulos del juego son: Demanda, pronósticos, órdenes de trabajo, códigos de productos, datos de entrada para la simulación, resultados y gráficas todos ellos contando con una página de ayuda general para facilitar la participación del usuario. El modelo conceptual de interacción de la herramienta se muestra en la figura 2. El sistema modular permite la incorporación de módulos nuevo que permitan entrenamiento en otras áreas tales como mantenimiento a los equipos que pudiese ser programado, preventivo cada cierto tiempo de simulación o correctivo incorporando fallas en los equipos de manera aleatoria. Otra posibilidad sería un módulo de control y aseguramiento de calidad donde se pueden tomar de la línea muestras, rechazar lotes de manera aleatoria, establecer niveles de defectos y desperdicios entre otras posibilidades. En la siguiente sección se describen brevemente cada uno de los módulos mostrados en la figura 2

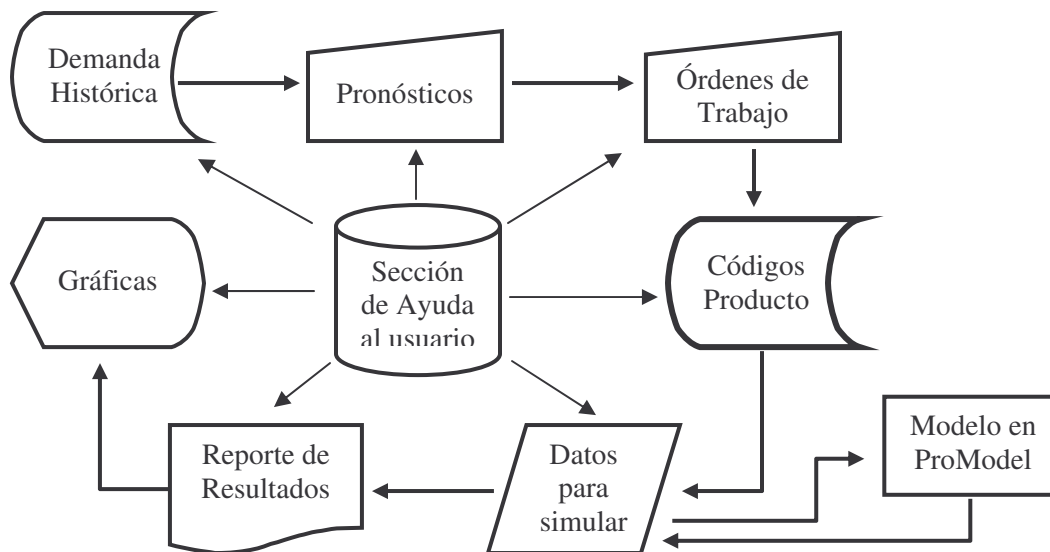


Figura 2. Modelo Conceptual de interacción de la herramienta.

##### 4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS MÓDULOS

Módulo de Demanda Histórica. En esta hoja de cálculo se integró información relativa a la demanda histórica para todos los productos que el juego utiliza y para cada una de las presentaciones de los productos incluidos en el modelo. Esta información está basada en información obtenida de demanda real de una embotelladora de bebidas

carbonatadas. Estos datos de demanda pueden ser modificados por el administrador del juego con la finalidad de crear diversos escenarios para los participantes.

Módulo de Pronósticos. Esta hoja de cálculo está preparada para almacenar por cada producto y cada presentación proyecciones de ventas de hasta por 3 años. Los datos pueden ser generados a partir de la demanda histórica o de cualquier otro factor que el administrador del juego estipule. No se provee un método específico de pronósticos por no se parte del objetivo de estudio. Sin embargo, dado que la interfase está construida en una hoja de cálculo facilita la programación de cualquier método para realizar ésta estimación.

Módulo de Órdenes de Trabajo. En ésta hoja el usuario comienza a tomar decisiones que implican entre otras variables seleccionar el tamaño del lote a fabricar por cada línea, la secuencia de producción, el número de cambios de producto por línea y las velocidad de producción. En este caso se predefinieron límites mínimos y máximos para cada una de estas variables. En caso de que el usuario alimente un valor fuera de estos rangos recibirá un mensaje de error que le indicará los rangos permitidos. Por otro lado, el usuario alimenta el número de orden y la descripción de la misma para poder darle seguimiento al momento del análisis.

Módulo de Códigos de Productos. Para facilitar el llenado de los datos al usuario se decidió incluir una hoja informativa en la que se listan los códigos de cada producto de acuerdo a su presentación, la líneas en donde pueden ser procesados y otra información relevante como el número de unidades por caja, por tarima o por lote.

Módulos de manejo de Datos para Simular. Los datos obtenidos de las hojas anteriores se integran en esta hoja para poder ser enviados al modelo de simulación. Esto es importante dado que la correcta interacción de ambos paquetes depende de la definición de donde leer cada variable que será enviada. Una vez verificada la información el usuario procede a ejecutar el modelo de simulación por medio de un botón programado en Visual Basic para tal objeto.

Módulo de Reporte de Resultados. Una vez que la simulación termina, el modelo regresa información con respecto al desempeño del sistema a Excel. En esta hoja de resultados se presenta por línea de producción la siguiente información: la utilización de los equipos, la cantidad de productos procesados por equipo, el porcentaje del tiempo que estuvo inactivo y el porcentaje de tiempo activo. Por medio de estos datos se calculan los costos de operación por equipo, mismos que al sumarse generan el costo total de operación de cada línea. El costo total de la operación es utilizado como variable global de medición del desempeño de los participantes.

Módulo de Gráficas. Basado en la información el módulo de reportes de resultados, se generan 2 hojas más. Una para presentar el nivel de la utilización de cada equipo por línea a manera de una gráfica de barras y una segunda que representa una evaluación del desempeño basado en los costos de operación, la ganancia esperada y la utilidad esperada.

Módulo de Ayuda. En este se colocó la información relacionada con la descripción de cada módulo y como alimentar la información que se solicitaba.

## **4.2 PROGRAMACIÓN EN PROMODEL**

En el caso del modelo de simulación, este se construyó usando el paquete ProModel. El intercambio de datos con el Excel se hizo por medio del "ActiveX" de ProModel con el que cuenta Excel. La utilización de ésta aplicación de Excel permite intercambiar datos con ProModel por medio de la definición de códigos de programación en Visual Basic que son ejecutados teniendo como plataforma de trabajo Excel. Esto permite que el modelo de simulación no esté en primer plano eliminando la necesidad que el participante del juego requiera de conocer el uso de ProModel para sacar beneficios del juego. Si el usuario desea ver la animación generada por el paquete de simulación se preparó un botón de acción para ejecutar la animación del sistema usando las condiciones operativas definidas en los primeros módulos del juego. Esto con la finalidad de que pudiese estar disponible en caso de que algún usuario estuviese interesado en visualizar el modelo como herramienta para toma de decisiones en conjunto con los resultados obtenidos. Sin embargo. El usuario no necesariamente estará capacitado para comprender como se generó el modelo, ni como modificarlo, aunque si podrá visualizar los flujos de los productos e insumos, los cuellos de botella que se generen durante el juego y el almacenamiento de productos de manera gráfica. Esto permitirá observar el impacto de sus decisiones ejecutadas en la operación del sistema.

Aunque el proceso de preparación de la bebida y el lavado de los envases no se considera como parte del sistema si se incluyen en el modelo como inventarios que son reabastecidos cada cierto tiempo. Por definición del modelo se consideró que si durante el análisis se consumía el concentrado de la bebida o se terminaban los envases el modelo causaría una falla grave en la línea con lo que se terminaría la simulación en ese momento.

#### 4.3 VALIDACIÓN DEL MODELO.

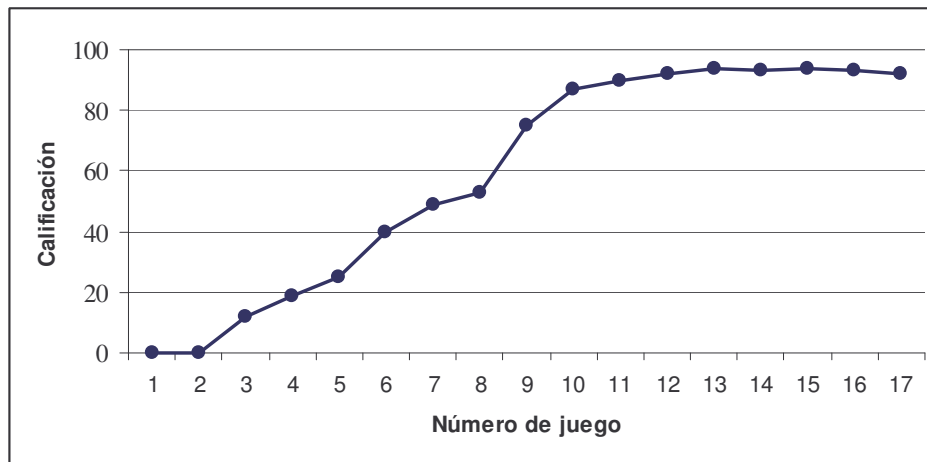
Una vez que la herramienta de simulación y toma de decisiones quedó terminada, se procedió a realizar la validación correspondiente para corroborar que los resultados obtenidos tuviesen sentido. Para ello se generaron 2 escenarios, uno pesimista que consideraba bajas capacidades en los equipos, capacidad de las tarimas con envase y frecuencia de llegadas de estas tarimas y uno optimista en donde los factores antes mencionados eran mejorados en un mínimo del 50%. Para comparar que los resultados fuesen consistentes se ejecutó el modelo de simulación en donde se verificó por medio de la interfase de resultados de ProModel que la producción y la utilización de los equipos mejora de manera general. Aunque los costos reportados por el modelo optimista fueron mayores esto se debió a que al haber más producción los costos variables de producción se incrementaron. Una vez terminado este proceso se procedió a aplicar el juego a personas externas a su desarrollo. Cabe mencionar que al ser este un modelo parcial de una línea de llenado de bebidas carbonatadas sería necesario realizar una validación previa a su uso con datos reales de la línea que se desee representar. Esto con la finalidad proveer de comparar los resultados obtenidos por las simulaciones con resultados reales obtenidos históricamente por la empresa y así validar de una manera más robusta la confiabilidad de la herramienta.

### 5. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS

Frecuentemente en la solución de problemas complejos se requiere considerar actividades en las que interviene el humano y donde las herramientas de sistemas de información con las que cuenta solo pueden apoyarle parcialmente para tomar una decisión. Por otro lado, estos problemas por su propia complejidad pueden llegar a ser poco o nada estructurados por lo que la mejor manera de encontrar una solución es por medio de un continuo proceso de interacción entre el tomador de decisiones y el sistema de soporte utilizado (Guariso et al., 1996). Dada esta situación para la experimentación se sometió a una muestra de personas a participar del juego de manufactura. De estas solo el 16.6% conocían y estaban familiarizadas con la operación de una línea de embotellado de bebidas carbonatadas. Antes de comenzar se les solicitó que por experiencia o intuición mencionaran las variables que influían en el desempeño del proceso de llenado de envases y los resultados que esperaban obtener después de ejecutar la simulación. Las variables mencionadas fueron las siguientes: demanda; tiempos de producción; programas de mantenimiento; y localización y número de cuellos de botella. En cuanto a los resultados, ellos esperaban obtener de la simulación principalmente la asignación de las cargas de trabajo y mejorar su conocimiento del proceso. Una vez concluida esta entrevista inicial se procedió a someter a los participantes a una serie de toma de decisiones por medio del juego de manufactura. Se hicieron un total de 17 juegos por cada jugador en donde se requería producir 30,000 unidades en cada línea de producto. Para establecer una medida de comparación del desempeño se definió la siguiente relación que se muestra en la ecuación 1, la cual se calculó por línea de producto. El promedio del desempeño de las líneas daba como resultado el nivel global del desempeño del participante.

$$\text{Nivel de desempeño por línea} = \left( 100 - \frac{\text{Absoluto}(\text{producido} - \text{ordenado})}{\text{producido}} * 100 \right) \quad \text{Ecuación(1)}$$

Aun y cuando esta ecuación puede generar valores negativos debido a un muy bajo nivel de producción o que la simulación se detiene por falta de insumos, estos valores se consideraron como cero en la evaluación del desempeño. La decisión de usar este indicador obedece a la posibilidad de tener sobreproducción debida a una mala decisión de producción. Esta sobre producción también se considera una penalización para el nivel de desempeño por línea. En la figura 3 se presentan los resultados obtenidos en estos experimentos.



**Figura 3. Gráfica promedio de calificación de los participantes**

Como se puede observar en esta figura las evaluaciones al inicio resultaron ser incluso negativas (se usó cero por la convención de la escala) por las pérdidas generadas por las decisiones tomadas por los participantes, en otras palabras la simulación se detenía por falta de insumos. No fue sino hasta la décima ronda donde pudieron superar un nivel de 85 establecido como nivel aceptable de desempeño durante el experimento, después de este número de juegos las evaluaciones tendieron a estabilizarse.

Una vez concluida la sesión de experimentación se repitió la aplicación de la encuesta inicial a los participantes. El 100% de ellos concluyeron que con el uso de la herramienta de simulación y toma de decisiones mejoraron considerablemente su conocimiento acerca de la operación de un sistema de envasado de refrescos. También el 100% de los participantes fue capaz de identificar las variables críticas de la frecuencia de llegada de los insumos, la capacidad de cada lote de insumos y la velocidad a la que se consumían en la máquina cuello de botella. Es importante resaltar que las variables críticas de la operación fueron diferentes antes y después de la aplicación del juego. Esto debido al entrenamiento recibido por los resultados obtenidos durante el mismo, lo que generó un mejor conocimiento del sistema que se estaba simulando. Finalmente, como parte del mejoramiento de esta herramienta de entrenamiento se les pidió su retroalimentación sobre la misma, las 3 principales observaciones fueron: Proporcionar los pronósticos de la demanda o programar rutinas que faciliten la aplicación de métodos de pronósticos, en otras palabras, se recomendó que ésta hoja no estuviese vacía al inicio de cada juego; Incluir en la herramienta la parte de distribución del producto final y manejo de inventario en la bodega de producto terminado, esto implica un interés por la herramienta como apoyo para su trabajo cotidiano; y finalmente que el tiempo de simulación sea más corto lo que permita un mayor número de juegos en un menor tiempo. En este caso la experimentación consistió de 17 juegos consecutivos en un mismo día, se podría mejorar el proceso si se realizan este número de pruebas o más distribuidas en varios días.

## 6. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos de la experimentación y a las observaciones generadas durante el desarrollo de esta herramienta, se puede concluir que el uso de la simulación como herramienta de apoyo a la toma de decisiones tiene un gran campo de acción. Así mismo facilita la comprensión de las relaciones entre las variables de proceso y sus impactos de una manera sistémica, cumpliendo con el objetivo de entrenamiento en la toma de decisiones. Por otro lado, el hecho de proveer de una interfase sencilla entre el usuario y la tecnología facilita la adaptación de los usuarios y desanima el rechazo por desconocimiento de la herramienta, principalmente al no involucrar al usuario en la interacción con un paquete de simulación que requiere de entrenamiento en su uso y conocimiento en el área de estadística por las distribuciones de probabilidad relacionadas a la construcción del modelo. Finalmente, aunque en este caso se utilizó un sistema de envasado de bebidas, este tipo de desarrollos puede ser implementado en cualquier tipo de sistema complejo en el cual la simulación sea capaz de proveer un análisis de escenarios y generar información que pueda ser relevante para la toma de decisiones.



## REFERENCIAS

- Blackhurst, J., Wu, T., y O'Grady, P. (2005). "PCDM: a decision support modeling methodology for supply chain, product and process design decisions", *Journal of Operation Management*, Vol. 23, pp.325-343.
- Centeno, M. A., y Carrillo, M. (2001). "Challenges of introducing simulation as decision making tool", *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, B. A. Peters, J. S. Smith, D. J. Medeiros, and M. W. Rohrer eds., pp 17-21
- Forgionne, G. A. (1988). "Building Effective Decision Support Systems". *Business*, Vol. 38, No. 1, pp. 19-30.
- García, E., García, H., y Cárdenas, L. E. (2006). *Simulación y Análisis de Sistemas con ProModel*, Prentice Hall, México.
- Gopalakrishnan, B., Yoshii, T., y Dappili, S. M. (2004). "Decision support systems for machining center selection", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 15, No. 2, pp. 144-154.
- Guariso, G., Hitz, M., Werthner, H. (1996), "An integrated simulation and optimization modeling environment for decision support", *Decision Support Systems*, Vol. 16, pp. 103-117.
- Haseman, W. D., Nazareth, D. L., y Paul, S. (2005). "Implementing of a group decision support system utilizing collective memory", *Information and Management*, Vol. 42, pp. 591-605.
- Hicks, D. A. (1999). "A four step methodology for using simulation and optimization technologies in strategic supply chain planning", *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, Editores: P. A. Farrington, H. B. Nembhard, D. T. Sturrock, y G. W. Evans, pp. 1215-1220.
- Lau, H. C. W., Lee, W. B., y Lau, P. K. H. (2001). "Developing of an intelligent decision support system for benchmarking assessment of business partners", *Benchmarking: An International Journal*, Vol. 8, No 5, pp. 376-395.
- O'Kane, J. (2004). "Simulating Production Performance: cross case analysis and policy implications". *Industrial Management & Data Systems*. Vol. 104, No. 4, pp 309-321.
- Orsoni, A., Bruzzone, A. G., y Revertía, R. (2001). "Framework development for web-based simulation applied to supply chain management", *International Journal of Simulation*, Vol. 4, No. 1, pp. 1-6.
- Owens, H. D., y Philippakis A. S. (1996), "Inductive consistency in knowledge-based decision support systems", *Decision Support Systems*, Vol. 13, pp. 167-181.
- Pearson, J. M., y Shim, J. P. (1995). "An empirical investigation into DSS structures and environments". *Decision Support Systems*, Vol. 13, pp 141-158.
- Shim, J. P., Warkentin, M., Courtney, J. F., Power, D. J., Sharda, R., y Carlsson C. (2002). "Past, present, and future of decision support technology", *Decision Support Systems*, Vol. 33, pp. 111-126.
- Workman, M. (2005). "Expert decision support system use, disuse, and misuse: a study using the theory of planned behavior", *Computers in Human Behavior*, Vol. 21, pp. 211-231.

### ***Autorización y Renuncia***

*Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en los procedimientos de la conferencia. LACCEI o los editors no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito*

### ***Authorization and Disclaimer***

*Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.*