

**UNA PROPUESTA INNOVADORA EN EL AREA DE PRODUCCION**  
**EL USO DE UN SIMULADOR SECTORIAL PARA ENTRENAMIENTO GERENCIAL**

De Luca, José María; Guidek, Roberto; Benítez, Marcos Daniel; Aguirre, Claudio;  
Domínguez, Guillermo; Carlino, Esteban; Holowaty, Héctor; Olexyn, Laura.

Universidad Nacional de Misiones

Facultad de Ciencias Económicas

Ruta Nacional N° 12, Km 7 y ½, C.P.(3.304), Miguel Lanús – Misiones – Argentina

E-mail: deluca@fce.unam.edu.ar

**RESUMEN**

El objetivo del presente trabajo es difundir un simulador gerencial que capacita y entrena en el área económico administrativa. Permite también, desarrollar habilidades gerenciales y financieras, de gran necesidad en la actividad empresarial.

Estos objetivos son logrados mediante juegos de estrategias cooperativos basados en técnicas de programación lineal, además de uso de técnicas heurísticas y meta heurísticas, que permiten obtener resultados factibles en modelos complejos, donde el espacio de búsqueda es muy grande, y se requiere breve tiempo, encontrar un plan de producción acorde a las exigencias de la gerencia.

Mediante el simulador para entrenamiento gerencial, se capacita al estudiante en la toma de decisiones, logrando mejores resultados que en el entrenamiento manual, apuntando siempre a la solución de situaciones problemáticas comunes al área de producción.

Los sectores industriales poseen escenarios caracterizados por desenvolverse en un contexto de incertidumbre. Ello obliga a que, el simulador capture correctamente las turbulencias en que se puede encontrar éste inmerso, y de esta manera sirva para aportar mayores cantidades de soluciones factibles, que las clásicas analizadas por un gerente, en la forma rutinaria de su trabajo, dentro de estilos gerenciales apoyados en el manejo intuitivo.

**PALABRAS CLAVES:** Simulador Gerencial, Teoría de Juegos, Heurística, Programación lineal, Software.

## **INTRODUCCIÓN**

Un modelo es una imagen o representación de un sistema, generalmente simplificado e incompleto. Y se denomina simulación a la experimentación a través de un modelo, para extraer conclusiones o realizar predicciones.

La simulación como método de formación consiste en situar al alumno en un contexto que imite algún aspecto de la realidad (modelo), y establecer en ese ambiente situaciones similares a las que él deberá enfrentar en su vida profesional, de manera que pueda “experimentar” sin riesgo y extraer conclusiones.

Los simuladores gerenciales y juegos de simulación de empresas son métodos de enseñanza aprendizaje modernos que permiten recrear la realidad, donde el jugador aplica técnicas de administración con el objeto de entender la dinámica empresarial compleja, realizar un diagnóstico de los problemas de manera clara y la implementación de soluciones a través de herramientas informáticas que mejoren su desempeño profesional o laboral.

El uso de la simulación en la formación empresarial permite acelerar el proceso de aprendizaje y contribuir a elevar la calidad de enseñanza, haciendo más eficiente la formación de alumnos.

Exponemos sintéticamente el resultado de la primera etapa del proyecto de investigación “Análisis de Simuladores Gerenciales Utilizando Modelos Heurísticos Evolutivos Orientados al Entrenamiento en Ciencias de la Administración”.

El modelo utilizado es un simulador gerencial, más específicamente en el área de producción de la misma, que nos va a permitir la aplicación de herramientas de Investigación Operativa y Planificación de la Producción, con lo que se logra integrar diferentes necesidades de las carreras de Ingeniería Industrial y Licenciatura en Administración de Empresas.

## **1. MARCO TEÓRICO y METODOLOGÍA**

### **1.1 Instrumentos y herramientas utilizadas**

#### **1.1.1 Teoría de juegos:**

En un juego, varios agentes buscan maximizar su utilidad eligiendo determinados cursos de acción. La utilidad final obtenida por cada individuo depende de los cursos de acción escogidos por el resto de los individuos.

La teoría de juegos es una herramienta que ayuda a analizar problemas de optimización interactiva. Los supuestos básicos de la Teoría de juegos, son:

- Los jugadores tienen objetivos básicos bien definidos (son racionales).
- Los jugadores toman en cuenta sus conocimientos o expectativas del comportamiento de los otros jugadores (ellos razonan estratégicamente).

Los modelos de Teoría de Juegos son representaciones abstractas de situaciones de la vida real. Estas abstracciones permiten estudiar un amplio rango de fenómenos. Por ejemplo, la Teoría de Equilibrio de Nash (Nash J. 1950)<sup>1</sup> se ha usado para estudiar oligopolio y competencia política.

#### **1.1.2 Modelo de Programación Lineal:**

En el modelo de programación lineal existen dos elementos claves que son los recursos y las actividades, en donde “m” denota el número total de recursos que se utilizan en el modelo y “n” denota el número de actividades del modelo.

Los recursos pueden ser: cantidad de dinero y tiempos de horas maquinas o equipos utilizados, horas hombres (mano de obra), entre otros. Los ejemplos de actividades pueden ser inversión en proyectos, procesos productivos que insumen recursos o cualquier actividad que involucre el uso de los mismos.

La aplicación más común en programación lineal es la asignación de recursos a las actividades consideradas. La cantidad total de cada recurso esta limitada, de

---

<sup>1</sup> Se define el equilibrio de Nash como un modo de obtener una estrategia óptima para juegos que involucren a dos o más jugadores. Si hay un conjunto de estrategias tal que ningún jugador se beneficia cambiando su estrategia mientras los otros no cambien la suya, entonces ese conjunto de estrategias y las ganancias correspondientes constituyen un equilibrio de Nash. *Non-cooperative games* (1950).

manera que tenemos recursos limitados. La determinación de esta asignación incluye elegir los niveles de las actividades que lograrán el mejor valor posible de la medida global de efectividad. Ciertos símbolos se usan de manera convencional para denotar los distintos componentes de un modelo de programación lineal. Estos símbolos se enumeran a continuación, junto con su interpretación para el problema general de asignación de recursos a actividades.

$Z$  = valor de la medida global de efectividad

$x_j$  = nivel de la actividad  $j$  (para  $j = 1, 2, \dots, n$ )

$c_j$  = incremento en  $Z$  que resulta al aumentar una unidad en el nivel de la actividad  $j$

$b_i$  = cantidad de recurso  $i$  disponible para asignar a las actividades (para  $i = 1, 2, \dots, m$ )

$a_{ij}$  = cantidad del recurso  $i$  consumido por cada unidad de la actividad  $j$

El modelo establece el problema en términos de tomar decisiones sobre los niveles de las actividades, por lo que  $x_1, x_2, \dots, x_n$  se llaman variables de decisión. Los valores de  $c_j$ ,  $b_i$  y  $a_{ij}$  (para  $i = 1, 2, \dots, m$  y  $j = 1, 2, \dots, n$ ) son las constantes de entrada al modelo. Las  $c_j$ ,  $b_i$  y  $a_{ij}$  también se conocen como parámetros del modelo.

### 1.1.3 Forma Estándar o Genérico del Modelo:

Con estas definiciones podemos formular al modelo matemático para este problema general de asignación de recursos a actividades. En datos necesarios para un modelo de programación lineal que maneja la asignación de recursos a actividades particular, este modelo consiste en elegir valores de  $x_1, x_2, \dots, x_n$  para:

Optimizar (maximizar o minimizar)  $Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$ ,

Sujeta a las restricciones:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \quad (<=, >=, =) \quad b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \quad (<=, >=, =) \quad b_2$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \quad (<=, >=, =) \quad b_m$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0.$$

#### **1.1.4 Modelo de estudio**

El modelo establecido es un juego de simulación de empresas, llamado Sistema Educativo de Gestión Integral en el Área de Producción (SEGIAP) basado en el uso de técnicas matemáticas de Investigación operativa, y el área de aplicación es la Producción, que nos permitirá el uso de herramientas de planeamiento de la producción, que a su vez integrará necesidades de las carreras de Ingeniería Industrial y Licenciatura en Administración de Empresas.

El modelo se encuentra diseñado en hojas electrónicas de cálculo (Excel) y está programado en el software Visual Basic Application (VBA), cuya descripción es mencionada a continuación:

#### **1.2 Descripción del sistema:**

El software SEGIAP contiene dos elementos Informáticos que utiliza de soporte:

- Estructura general del archivo Excel: es un único archivo llamado tabla de datos en donde se encuentra toda la información del sistema.
- Estructura general del VBA: son 6 formularios con la referencia solver.xla y Microsoft Excel 9.0.

El primero contiene la base de datos del sistema como así también los informes de salida. El segundo es el sistema gestor que posibilita procesamiento de la información, permitiendo almacenar y posteriormente acceder a los datos de forma rápida y estructurada, permitiendo la generación de los informes de Técnicos y Económicos de Producción a cada participante individualmente.

Los dos interactúan de forma permanente para darle un entorno amigable y comprensible al sistema.

El juego posee una innovación desde le punto de vista de herramientas informáticas aplicables, la cual contiene un modulo de optimalidad (referencia Solver.xla) que permite al Administrador del simulador obtener la producción óptima de cada jugador, considerando el nº óptimo de unidades de productos a elaborar en cada turno considerando:

- 2 Procesos Productivos: que involucra la utilización de dos tipos de maquinas en cada proceso, utilizadas en todos los turnos de trabajo establecidos.
- 2 Tipos diferentes de Materias Primas: utilizadas de distinta manera por cada producto.
- 4 Turnos de Producción: dos turnos normales de 8 Hs. y dos turnos extras de 4 Hs.
- 4 Productos: que insumen distintas cantidades de recursos.

### **1.2.1 Funcionamiento del SEGIAP**

El (SEGIAP), que simula el área de producción en una empresa manufacturera que elabora productos utilizando los recursos humanos (MO), procesos fabriles (MQ1 y MQ2) y materias primas (MP1 y MP2) de una empresa en un ambiente competitivo. Tiene por fin introducir, capacitar y perfeccionar a alumnos, empresarios y gerentes en el desenvolvimiento y administración del área de producción, lo que implica el análisis de información tanto cualitativa como cuantitativa, aplicaciones de herramientas administrativas, la toma de decisiones múltiples, revisión de sus repercusiones y la adopción de medidas correctivas de ser necesario, entre otros aspectos.

El SEGIAP optimiza el nivel de producción para cada uno de los productos, o sea la mejor decisión de mezcla de productos (número de productos a elaborar para cada tipo de producto, en cada turno (normal y extra), con los recursos disponibles (MO-Maq-MP) desde el punto de vista económico y considerando los objetivos y limites de producción.

El SEGIAP calcula todos los valores del informe de producción (costos, utilización de recursos) con el nivel optimo de producción (o sea el valor de los informes corresponde al valor optimo de la producción considerando las restricciones del mercado, pedidos, aprovisionamiento y capacidad) y no al nivel de producción que ha decidido el jugador) y luego compara las decisiones optimas con las decisiones y costos del jugador para determinar los desvíos de sus decisiones y el optimo del juego.

De eso resulta dos indicadores de desvío o performance del jugador:

- Desvío porcentual de nivel de producción:  $(DNP - NPO) \times 100$
- Desvío porcentual de costos unitarios promedio de los productos:  $(DCUPP - COUPP) \times 100$

Siendo:

DNP: Decisiones del nivel de producción del jugador.

NPO: Nivel de producción óptimo del juego.

CUPP : Costo Unitario Promedio de cada producto por el jugador.

COUPP: Costo Óptimo Unitario Promedio de cada producto del juego.

Luego, a través la ponderación de dichos indicadores se elabora el indicador general del juego, o ranking gerencial.

### **1.2.2 Las decisiones que deberán tomarse son:**

Al comienzo de cada trimestre se tomarán decisiones sobre:

- Planificación de la producción, esto es nº de unidades producidas de cada producto en cada uno de los turnos de trabajo para el período considerado.
- Número de personas a contratar.
- Número personas a dejar cesantes.
- Planificación del mantenimiento, esto es inmovilización de maquinaria, en función a la disponibilidad horaria.
- Inversión destinada a la mejora de los procesos productivos.
- Materias primas a adquirir para cada uno de los productos.
- Determinación de costos promedios de los productos.

Luego de operado el Juego de Simulación de Empresas, un grupo completo de Informes de producción determinará las consecuencias de las decisiones que han sido tomadas y la nueva situación al término del trimestre, los cuales se describen a continuación:

1. Informe Técnico de Producción: consta de 6 ítems que proveen información acerca de la disponibilidad de recursos que posee el área de producción como así también la meta productiva para cada uno de los productos, establecido por el área de comercialización y finanzas.
2. Informe Económico de Producción: provee la cuantificación de los recursos disponibles en términos monetarios y determina los costos por concepto y por producto en términos totales y unitarios respectivamente.

### **1.2.3 Informe Técnico de Producción**

- Pronósticos de ventas: presenta las unidades de productos requeridas para su comercialización en el presente período. También son las metas de producción a las que se pretende llegar.
- Disponibilidad de materias primas (en kilogramos): provee la información de inventario de materias primas en unidades para cada uno de los productos, ingresos de productos correspondiente al pedido del presente período y el anterior. Además determina la utilización de materia prima para la producción de cada uno de los productos.
- Plantel de recursos humanos (mano de obra): permite apreciar el nº de operarios que posee el área de producción al inicio del período, las modificaciones ocurridas (altas y bajas) y el plantel final.
- Potencial de fábrica (capacidad fabril): de la misma manera nos provee la información referida a las unidades de máquinas que posee el área de producción y las nuevas disponibilidades de máquinas y las adquisiciones en curso.
- Rotura de maquina y mantenimiento preventivo: muestra el nº de máquinas que están descompuestas y fuera de servicio, así también las horas de parada de máquinas aplicable a cada uno de los turnos.



- Planificación de la producción (unidades de productos): provee información de cuantas unidades de producto se elaboraron en cada turno.

#### **1.2.4 Informe Económico de Producción**

- Ingresos obtenidos: resulta del producto de las unidades vendidas (estimadas) y el precio de cada uno de los productos.
- Asignación de recursos: permite en términos de unidades de recursos (hs. hombre, hs. máquinas y unidades de MP) que fueron utilizados en el proceso productivo.
- Costos unitarios de los recursos: muestra el valor monetario unitario de los recursos en función al nivel de producción.
- Costos totales de los recursos: resulta del producto de los costos unitarios por la cantidad de unidades de recursos utilizados, además contiene los costos fijos no vinculados directamente a los productos.
- Costo unitario total promedio de cada producto: es una de las decisiones de cada jugador. Está dada por la sumatoria de los costos unitarios variable más la sumatoria de los costos fijos unitarios prorrateados.

#### **1.3 Proceso de Optimalidad:**

El proceso de optimalidad esta plasmado en una serie de algoritmos computacionales en Visual Basic que trabaja en conjunto con el solver.xls, a fin de lograr la optimización de la producción permitiendo el cálculo de optimalidad en forma exacta para cada uno de los productos, en cada turno y en función a los recursos disponibles, de la manera mas rápida y con la certeza de no cometer equivocaciones.

El proceso de optimalidad, es un modelo de programación lineal que calcula 16 variables que son la cantidad a producir de cada producto (producto 1, 2, 3 y 4) en cada uno de los turnos, sujeto a las restricciones de:

1. Disponibilidad y requerimiento de materias primas.
2. Horas hombres disponibles y requeridas para la producción establecida por el jugador y sujeta a la demanda del mercado y en función a los turnos de trabajo estipulados.
3. Horas maquinas disponibles para la producción que está en función a la cantidad de maquinarias utilizadas y disponibles en cada turno de trabajo.
4. Otras cuestiones que hacen a la producción mínima de cada uno de los productos ofrecidos y a su demanda de acuerdo a las políticas establecidas por el jugador.
5. Otros aspectos que resultan del caso de estudio del juego.

### **1.3.1 Modelo de PL simplificado para el SEGIAP:**

#### **Valor Z de la función de optimización:**

Z = Valor de la medida de utilidad de la empresa (maximización del valor de utilidad neta)<sup>2</sup>.

#### **Variables de decisión Xij:**

xij = Número de unidades elaboradas de cada producto (para i = 1,2,3,4) en cada turno de trabajo (para j = 1,2,3,4).

#### **Coefficientes de la función objetivo (parámetro):**

cij = Margen de utilidad de cada producto (para i = 1,2,3,4) en cada turno de trabajo (para j = 1,2,3,4).

#### **Variables de recursos (parámetro):**

MOi: Horas hombres utilizadas en la elaboración de un producto i (para i: 1,2,3,4).

MQ1i: Horas máquinas (tipo 1) utilizadas en la elaboración de un producto i (para i: 1,2,3,4)

MQ2i: Horas máquinas (tipo 2) utilizadas en la elaboración de un producto i (para i: 1,2,3,4).

---

<sup>2</sup> Incorpora además todos los costos fijos que resultan del simulador gerencial.

MP1i: Unidades de materia prima (tipo 1) utilizadas en la elaboración de un producto i (para i: 1,2,3,4).

MP2i: Unidades de materia prima (tipo 2) utilizadas en la elaboración de un producto i (para i: 1,2,3,4).

**Disponibilidad de recursos (lado derecho de la restricción-parámetro):**

**bmoj** = Cantidad de recurso de mano de obra disponible para asignar a cada turno de trabajo j (para j = 1,2,3,4).

**bm1j** = Cantidad de recurso (Hs.. máquina) de maquinaria 1 del proceso, disponible para asignar a cada turno de trabajo j (para j = 1,2,3,4).

**bm2j** = Cantidad de recurso (Hs.. máquina) de maquinaria 2 del proceso, disponible para asignar a cada turno de trabajo j (para j = 1,2,3,4).

**bmp1** = Cantidad de recurso de materia prima 1 disponible para todos los productos.

**bmp2** = Cantidad de recurso de materia prima 2 disponible para todos los productos.

**bxij** = Cantidad máxima de unidades de producto a elaborar en cada turno de trabajo.

**bxminij** = Cantidad mínima de unidades de producto i a elaborar en cada turno de trabajo j.

**Cantidad de cada recurso insumido en el proceso (parámetro):**

**aMOij** = Cantidad de Hs. hombre MO insumido por cada turno de trabajo j (para j = 1,2,3,4).

**aMQ1ij** = Cantidad de Hs.. máquina MQ1 insumido por cada turno de trabajo j (para j = 1,2,3,4).

**aMQ2ij** = Cantidad de Hs.. máquina MQ2 insumido por cada turno de trabajo j (para j = 1,2,3,4).

**aMP1ij** = Cantidad de unidades de MP1 insumido por cada producto i (para i = 1,2,3,4) y turno j (para j = 1,2,3,4).

**aMP2ij** = Cantidad de unidades de MP2 insumido por cada producto i (para i = 1,2,3,4) y turno j (para j = 1,2,3,4).

### 1.3.2 Presentación del Modelo:

#### **Función objetivo:**

Optimizar (maximizar)  $Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$ ,

Sujeta a:

#### **Restricciones de mano de obra para cada turno de trabajo:**

$$a_{MO11}x_1 + a_{MO12}x_2 + \dots + a_{MO1n}x_n \leq b_{moj}$$

#### **Restricciones de Maquina 1 para cada turno de trabajo:**

$$a_{MQ11}x_1 + a_{MQ12}x_2 + \dots + a_{MQ1n}x_n \leq b_{m1j}$$

#### **Restricciones de Maquina 2 para cada turno de trabajo:**

$$a_{MQ21}x_1 + a_{MQ22}x_2 + \dots + a_{MQ2n}x_n \leq b_{mp1j}$$

#### **Restricciones de Materia Prima 1 para cada turno de trabajo:**

$$a_{MP11}x_1 + a_{MP12}x_2 + \dots + a_{MP1n}x_n \leq b_{mp2j}$$

#### **Restricciones de no negatividad o producción mínima:**

$$x_i \geq b_{xminij}$$

#### **Restricciones producción máxima:**

$$x_i \leq b_{xij}$$

## **CONCLUSIONES**

El Sistema Educativo de Gestión Integral en el Área de Producción permitió avanzar significativamente en la comprensión del modelo de optimización que contiene muchos de los supuestos y herramientas utilizadas en la programación lineal e investigación operativa.

Con el Simulador gerencial, se puede establecer parámetros y características del diseño del juego de empresas y además metodologías de enseñanza-aprendizaje, que nos permiten incorporar a las habilidades del jugador, como el estudio del caso, como elemento pedagógico que permite comprender el proceso de aprendizaje, la incorporación de procedimientos y técnicas informáticas que permitan al alumno construir modelos matemáticos con el objeto de optimizar procesos similares a los

reales y por último la incorporación de similitud de la realidad empresarial, la solución de problemas complejos y la toma de decisiones múltiples.

## **BIBLIOGRAFÍA**

GLOVER, F. Tabu Search: A tutorial, *Interfaces* 20 (4), pp 74-94. 7. (1990).

GLOVER, F.; LAGUNA, M. *Tabu Search*, Kluwer Academic Publishers. (1997).

HIROAKI, U.; DAISUKE O.; KENICHI T.; TETSUHIRO, M. Comparisons of Genetic Algorithms for Timetabling Problems, *Systems and Computers in Japan*, Vol. 35, No. 7, pp 691-701. 9. (2004).

HITOSHI, K.; KONDO, M.; SUGIMOTO, M., Solving Timetabling Problems using Genetic Algorithms based on minimizing conflict heuristics, in Giannakoglou K., Tsahalis, Periaux, Papailiou, Fogarty (Eds), *Evolutionary methods for design, Optimisation and Control*, CIMNE, Barcelona. 10. Miner S., ElMohamed S., Hon W. (1995), *Optimisation of Timetabling Solutions Using graph Colouring*, In *Timetabling Techniques*, North-East Parallel Architecture Centre (NPAC). (2002).

REEVES, C. Landscapes. Operators and Heuristics Search, *Annals of Operations Research*, Vol. 86, pp. 473-490. 14. (1999).

THOMPSON, J.; DOWSLAND, K. Variants of Simulated Annealing for the Examinations Timetabling Problem, *Annals of Operations Research*, Vol. 63, pp. 105-128. (1996).

WHITE, G.M.; XIE, S. B.; ZONJIC, S. Using Tabu Search with longer term memory and relaxation to create examination timetables, *European Journal of Operations Research*, vol. 153, 80-91. (2004).

AARTS, E., KORST, J., "Simulated Annealing and Boltzmann machines", Wiley, (1989).

GLOVER, F.; LAGUNA, M. "Tabu Search", Kluwer Academic Pub., (1997).

MITCHELL, M. "An introduction to genetic algorithms (complex adaptive systems)",  
(1996).