

Modelado matemático para solucionar problemas de gestión de recursos en la industria

María De la Llave & José De Ita

M. Llave & J. De Ita
Universidad Tecnológica de Huejotzingo, Real San Mateo, Santa Ana Xalmimilulco, Puebla.
alondra.procesosuth@gmail.com

M. Ramos., V. Aguilera., (eds.) .Ciencias Naturales y Exactas, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2013.

Abstract

This paper presents the results of an applied research and technology transfer project focused on serving diverse needs of the productive sector of the influence zone of the UTH, related to resource management and operation of production processes of micro, small and medium companies, by using mathematical models of Operations Research, such as Linear and Integer Linear Programming, Goal programming, Dynamic Programming and PERT-CPM. The issues to address include the allocation of resources (human, material and technological), production lines distribution, distribution routes (logistics), distribution / warehouse management, product mix and inventory policies.

The project was divided into two stages, the first consisting of the study of contextual and conceptual frameworks, and the second by the application of quantitative methods and mathematical modeling itself on attention to the specific needs found in the previous stage.

20 Introducción

La tradición de Puebla como un estado industrial y económicamente fuerte, se funda en raíces tan añejas como la misma fundación de la capital del estado en 1531. Las primeras instalaciones industriales en lo que hoy es la capital poblana fueron la fábrica textil La Guía y la curtiduría de piel El Tigre, ambas consideradas industrias pioneras en la Colonia Industrial de Puebla y que fueron edificadas en el predio donde actualmente se ubica el Centro Comercial Paseo de San Francisco, cuyo primer propietario fue García de Aguilar en 1533.

Como es de esperarse, la industria fue adaptándose a la evolución social y tuvo por tanto que dejar las antiguas prácticas de administración de recursos, para hacer uso de técnicas con bases científicas y herramientas automatizadas para la toma de decisiones y la gestión de sus medios productivos; así nace la Investigación de Operaciones como disciplina, primero con aplicación militar y luego llevada al ámbito industrial, donde presentó resultados extraordinarios en la optimización del manejo de recursos.

Este trabajo, se centra en los usos que de esta disciplina pueden realizar micro y pequeñas empresas poblanas para solucionar problemas relacionados al manejo de sus recursos, optimizando así los resultados de su operación con un mínimo de inversión financiera.

En cuanto a la estructura del documento, se encuentra en inicio la descripción de la metodología empleada para desarrollar el proyecto, misma que puede ser dividida en el estudio del contexto de la industria poblana, una etapa de identificación y selección de necesidades genéricas y la generación de modelos matemáticos que atiendan las necesidades detectadas. Finalmente se presenta un esbozo de los resultados obtenidos, así como la discusión y las conclusiones.

20.1 Método

El desarrollo del trabajo consiste principalmente en las etapas que a continuación se enuncian y desarrollan:

- a) Estudio y análisis de la industria poblana como marco contextual.
- b) Identificación de necesidades genéricas en la industria y depuración.
- c) Generación de modelos matemáticos correspondientes a las necesidades que fueron identificadas en la etapa anterior.

20.2 Estudio general de la Industria poblana

El Estado de Puebla se encuentra estratégicamente localizado en el centro sur del país, a 120 kilómetros de la Ciudad de México y a 300 kilómetros del puerto internacional de Veracruz. Cuenta con un aeropuerto internacional y un puerto seco que será un centro logístico y aduanal. Tiene una población de más de 5 millones de habitantes y un clima de 21°C promedio al año que favorece la producción de productos agrícolas. Los sectores más importantes en el estado son: automotriz y autopartes, metalmecánica, química, plásticos, textil y confección, muebles, alimentos frescos y procesados, artículos de decoración, mármol, minería y tecnologías de información (Secretaría de Economía, 2011).

De entre todas las actividades económicas en el Estado de Puebla, y de acuerdo con la información proporcionada en el Censo económico 2009 del INEGI, se tienen los siguientes porcentajes de aportación al PIB estatal por actividad:

- Actividades primarias: 4.93%
- Actividades secundarias: 31.89%
- Actividades terciarias: 63.18%

Es claro que el sector de actividades terciarias es el que más aporta al PIB del Estado, sin embargo, el análisis por sector indica que las industrias manufactureras (de actividades secundarias) se ubican en primer lugar de aportación con el 25.14%, y son seguidas a continuación por sectores de actividades terciarias, quedando en el segundo lugar global el sector de Comercio, restaurantes y hoteles con 16.77%; en tercero los Servicios financieros e inmobiliarios (15.89%) y en cuarto el sector de transportes e información en medios masivos (11.17%).

20.3 Industria manufacturera

El Estado está subdividido en siete regiones socioeconómicas que presentan muy variados niveles de crecimiento económico, debido, principalmente a que la más alta concentración de industrias manufactureras se presenta en una sola de las regiones, a saber la Región Angelópolis, misma que agrupa a los municipios poblanos más prósperos (Amozoc, Cuautlancingo, Huejotzingo, Puebla y San Martín Texmelucan) y en los que se encuentran instaladas 13 de las 15 zonas industriales del Estado.

Todos los corredores industriales del Estado de Puebla se encuentran ubicados estratégicamente a lo largo de la Autopista México – Puebla – Veracruz, que es considerada como “la carretera más activa y moderna de todo el sureste del país” (Colliers, 2008). Por otra parte, cinco de los 15 desarrollos industriales reportados por el INEGI en 2010 instalados en el Estado de Puebla, se ubican en la zona de influencia de la Universidad Tecnológica de Huejotzingo, uno en el municipio de San Martín Texmelucan (Parque Industrial Área Uno) y los cuatro restantes en Huejotzingo (Área Cuatro, Ciudad Textil, El Carmen y San Miguel).

La industria manufacturera en Puebla, ocupaba en 2011 un promedio anual de 102,928 personas y llegando a un máximo de 104,549 en Noviembre del mismo año. Para Febrero de 2012 el personal ocupado total de la industria manufacturera ascendió a 105,111, cifra máxima de personal ocupado desde 2009 en este sector (INEGI, 2012). Del personal ocupado en la industria manufacturera en Puebla en Febrero de 2012, 36,633 se ocupaban en fabricación de equipo de transporte; 11,881 en la fabricación de prendas de vestir y 12,394 en la industria alimentaria (ídem).

20.4 Actividades terciarias

Dentro de las actividades terciarias en el Estado de Puebla, los primeros tres lugares por su porcentaje de aportación al PIB estatal (2009), son:

1. Comercios, restaurantes y hoteles con el 16.77%,
2. Servicios financieros e inmobiliarios, que aportan el 15.89%,
3. Transportes e información en medios masivos con el 11.17%.

Para el primer trimestre de 2012, 1,219,000 personas (51.6% mujeres, 48.4% hombres) se ocupaban en actividades económicas correspondientes al sector terciario, mientras que los sectores primario y secundario ocupaban a 550,000 y 619,000 personas respectivamente; cabe señalar que el sector terciario creció el 3.1% en el segundo trimestre de 2011.

20.5 Identificación de necesidades genéricas

Derivado del estudio de las características de la industria y las empresas asentadas en la región de influencia de la UTH, se identifican las necesidades siguientes como comunes a empresas de todos los tamaños y sectores:

1. Mezclas: de productos para su producción y/o envío; de componentes (ingredientes, sub-ensambles, etc.) para la producción de un bien.
2. Asignación de horarios y/o cargas de trabajo a personas y/o estaciones productivas.
3. Definición de rutas de distribución que reduzcan tiempo / costo.

Los modelos matemáticos se plantean como genéricos para dar atención a las necesidades arriba mencionadas, y pueden ser adaptados a casos específicos contando con la información correspondiente.

20.6 Modelado matemático

Las fases principales para la implementación de la Investigación de Operaciones en la práctica son de acuerdo con Taha (2004):

1. Definición del problema. Implica definir el alcance del problema investigado y debe identificar tres elementos principales: descripción de las alternativas de solución, determinación del objetivo de estudio y especificación de las limitaciones bajo las cuales funciona el sistema.
2. Construcción del modelo. Equivale a la traducción del problema definido a relaciones matemáticas; en caso de sistemas muy complejos puede ser necesaria la simplificación del modelo y utilizar técnicas heurísticas.
3. Solución del modelo. Es la fase más sencilla, pues consiste en el empleo de algún algoritmo de optimización bien definido.
4. Validación del modelo. Comprueba que el modelo propuesto hace lo que se quiere que haga; para esta comprobación se hace uso de datos históricos como referencia y en caso de sistemas nuevos se utiliza la simulación.
5. Implementación de la solución. Es una nueva etapa de traducción, en este caso los resultados obtenidos son traducidos en instrucciones de operación.

El desarrollo de los modelos matemáticos comprende, en los casos 1 (Mezclas) y 2 (Asignación de horarios y/o cargas de trabajo), la identificación de las variables de decisión, los parámetros y las restricciones; mientras que en el caso 3 (Definición de rutas), se recomienda la selección de los algoritmos de modelos de redes, la selección dependerá de las características específicas del problema, adicionalmente a la previa identificación de las variables de decisión y la comprensión clara del objetivo.

a) Modelo matemático para problemas de mezclas: En la descripción modelo para problemas de mezclas descritos a continuación, se utilizará el término “producto” para referirse al producto final, pudiendo ser este un componente o sub-ensamble de un producto mayor; y el término “componente” para referirse a los materiales, materias primas, ingredientes, componentes o sub-ensambles que en conjunto y después de procesados forman el producto terminado.

Identificación de las variables de decisión y los parámetros del problema

n = Cantidad de diferentes productos.

x_i = Productos que deben producirse o distribuirse, $i = [1, n]$

D_i = Demanda del producto i .

K_i = Capacidad de producción del producto i .

C_i = Costo unitario de producción del producto i .

u_i = Utilidad (o beneficio) unitaria generada por el producto i .

th_i = Tiempo hombre unitario de proceso o traslado del producto i .

T = Tiempo – hombre total disponible para la producción o traslado.

tm_i = Tiempo máquina unitario de proceso o traslado del producto i .

Tm = Tiempo – máquina total disponible para la producción o traslado.

rm_i = Requerimiento unitario de material para el producto i .

m = Material disponible para la producción.

Definición de las restricciones y la función objetivo

- a) Restricción de empleo de materiales (para cada material necesario): $rm_i x_i \leq m$
- b) Restricción de tiempo – hombre (para cada especialidad de la mano de obra): $th_i x_i \leq T$
- c) Restricción de tiempo – máquina (para cada centro de trabajo): $tm_i x_i \leq Tm$
- d) Restricción de demanda (de cada producto): $x_i \leq D_i$
- e) Restricción de capacidad de producción (de cada producto): $x_i \leq K_i$
- f) Restricción de no negatividad: $x_i \geq 0$

g) Función objetivo, aplica una y sólo una de las siguientes, según las necesidades de la empresa: para maximizar la utilidad U_i o para minimizar el costo de producción C_i

b) Modelo matemático para asignación de horarios y/o cargas de trabajo: En este modelo se utiliza el término “trabajador” para referirse a) a la mano de obra, o b) a los centros de trabajo; de esta manera con un solo modelo pueda resolverse la cuestión de la asignación de trabajadores en empresas con múltiples tipos de trabajadores y múltiples turnos y la cuestión de la asignación de trabajos en empresas con centros de trabajo de múltiples tipos y tiempos de proceso variables.

Identificación de las variables de decisión y los parámetros del problema

n = Cantidad de diferentes empleados o centros de trabajo.

x_i = cantidad de trabajadores tipo i que deben asignarse, donde $i = [1, n]$

t_{ai} = Cantidad de trabajadores tipo i requeridos en el horario a .

T_a = duración del turno a

a = cantidad de turnos

j_i = duración de la jornada del trabajador tipo i

T = Cantidad total de trabajadores.

C_i = Costo unitario de hora hombre por tipo de trabajador.

h_i = Horas hombre por tipo de trabajador.

H = Horas totales de trabajo requeridas.

d_i = Horas de descanso permitido por tipo de trabajador.

D = Horas totales de descanso permitidas.

Definición de restricciones y función objetivo

a) Restricción de cantidad permitida de trabajadores o centros de trabajo (para cada tipo de trabajador o de centro de trabajo): $t_i \leq T$

b) Restricción de asignación de horas hombre: $h_i \leq H$

c) Restricción de tiempo para descansos: $d_i \leq D$

- d) Restricción de requerimiento total de personal en el turno (por cada turno): $x_i = t_{ai}$
- e) Restricción de no negatividad y enteros: $X_i \geq 0$, *enteras* para $i = [1, n]$
- f) Función objetivo: Minimizar la plantilla de trabajo y su costo asociado $\min Z = \sum C X_i$

c) Modelo matemático para selección de rutas de distribución: Este tipo de problema es comúnmente abordado y solucionado con algún método de optimización de redes, por ser más sencillos; sin embargo, es posible diseñar el modelo genérico de PL y resolverlo utilizando las herramientas y aplicaciones informáticas apropiadas, disminuyendo así el tiempo dedicado a cálculos, la principal desventaja de las soluciones algebraicas. El modelo matemático debe garantizar que se cumple con demanda y oferta minimizando el costo total de traslado entre lo que serían estaciones en las rutas de distribución.

Identificación de las variables de decisión y los parámetros del problema

X_{ij} = cantidad de material que debe fluir del nodo i al nodo j

n = cantidad de nodos.

se_j = flujo (salidas - entradas) del nodo j , donde $j = [1, n]$

A = cantidad de arcos (rutas entre uno y otro nodo).

a_{ij} = arco o ruta del nodo fuente i al nodo destino j .

C_{ij} = costo unitario de traslado del nodo fuente i al nodo destino j .

O_i = capacidad de envío (oferta) de los nodos fuente.

D_j = demanda de envío de los nodos destino.

k_{ij} = capacidad mínima de traslado de la ruta entre el nodo fuente i y el nodo destino j .

K_{ij} = capacidad máxima de traslado de la ruta entre el nodo fuente i y el nodo destino j .

Definición de restricciones y función objetivo

- a) Restricción de flujo (para cada nodo): $\sum X_{jk} - \sum X_{ij} = f_j$

b) Restricción de capacidad de la ruta (para cada ruta): $k_{ij} \leq X_{ij} \leq K_{ij}$ ¹

c) Función objetivo: Minimizar el costo asociado al traslado de mercancías
 $\min Z = CX_j$

20.7 Resultados

Como primero de los resultados del estudio se tiene el conocimiento general de la industria poblana y sus características principales; en segundo lugar se tiene la identificación de necesidades comunes en distintos sectores de la industria en Puebla, mismos que no tienen distingo en función del tamaño de la organización. Las necesidades identificadas se resumen en, problemas de mezclas de productos y de componentes, asignación de horarios y/o cargas de trabajo a personas y/o estaciones productivas y definición de rutas de distribución que reduzcan tiempo / costo.

En tercer lugar en orden de aparición, y primero en orden de importancia, se tiene el desarrollo de modelos matemáticos genéricos de programación lineal para el problema de mezclas y el problema de asignación de horarios y/o cargas de trabajo, así como para el problema de selección de rutas de distribución. Cabe señalar que como un resultado adicional, el modelo de mezclas fue aplicado en Interpack Puebla, una microempresa poblana que ofrece servicios de mensajería y paquetería internacional de Puebla a la costa noreste de los Estados Unidos de Norteamérica, y que a partir de esta aplicación se realizó la validación del modelo.

20.8 Discusión

Lo anteriormente expuesto deja de manifiesto que las necesidades de las empresas no requieren obligatoriamente de grandes inversiones de capital en forma de equipo e infraestructura sofisticados para su satisfacción; la mayoría de las veces, lo único realmente necesario es hacer uso de metodologías, técnicas y/o herramientas cuyo recurso singular e imprescindible es el conocimiento.

Es obligación básica de las instituciones educativas aportar a la industria un tipo de soluciones en las que el capital intelectual que ambas albergan sea exhaustivamente aprovechado, logrando que los beneficios sean bilaterales, mutuamente incluyentes y potencializados.

La industria y la academia deben ser conscientes de que la justificación para dedicar la mayor inversión a recursos distintos del intelectual, se tiene únicamente una vez que estos han sido agotados y la única manera de mantener la mejora es la recurrencia a medios de otro tipo, tales como la tecnología de punta.

¹ Esta restricción puede descomponerse (para cada ruta) en las siguientes dos restricciones $X_{ij} \leq K_{ij}$ y $X_{ij} \geq k_{ij}$

20.9 Conclusiones

La zona de influencia de la UTH, es una región que alberga al menos cuatro zonas industriales, en las que las empresas presentes se dedican principalmente a la manufactura de autopartes, metalmecánica y productos textiles, en estas zonas la mayoría de las empresas son medianas sin que sea raro encontrar empresas grandes, de capital y tecnología extranjeros pertenecientes a corporativos internacionales; no obstante, existe también una gran cantidad de micro y pequeñas empresas en la región, que tienen por principales ocupaciones la maquila de prendas de vestir, el comercio, actividades agropecuarias y transporte.

En todos los casos, las empresas hacen frente a una serie de problemáticas que tienen como factor común la asignación y empleo de sus recursos productivos, así tenemos, que en todos los casos las organizaciones enfrentan la necesidad de asignar los recursos productivos de manera que la actividad resulte lo menos costosa y más redituable posible; los recursos a asignar pueden clasificarse básicamente en materiales, tecnológicos, de tiempo y de personal.

Los problemas de asignación de recursos son fácilmente representados y estudiados mediante modelos matemáticos genéricos que pueden ser adaptados a situaciones y necesidades particulares, éstos modelos pueden ser resueltos mediante algoritmos – típicamente iterativos– simples para los que existe una cantidad importante de programas y aplicaciones informáticas, en muchos casos a muy bajo costo (por ejemplo, Tora está disponible en la versión estudiantil al adquirir el libro) y en otros más de licencia libre (por ejemplo WinQSB), de esta manera, con muy poca inversión monetaria, los micro y pequeños empresarios de la región pueden disponer de medios apropiados y suficientes para mejorar la administración de sus recursos y así obtener los correspondientes beneficios de una buena gestión.

20.10 Referencias

- Colliers International. (2008). Ciudad de Puebla. The Knowledge Report, Reporte Industrial, Primer semestre 2008.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2012). Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2010). Anuario Estadístico del Estado de Puebla 2010. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2009). Anuario Estadístico del Estado de Puebla 2009. México.
- Secretaría de Economía – ProMéxico, Inversión y Economía. (2011). México Investment Map: Puebla. México.
- Taha, Hamdy. (2004). Investigación de Operaciones. Pearson – Prentice Hall. Séptima edición. México.