



Investigación Administrativa

ISSN: 1870-6614

riarevistainvestigacion@gmail.com

Escuela Superior de Comercio y

Administración, Unidad Santo Tomás

México

Ojeda Villagómez, Raúl

TOMA DE DECISIONES EN LA ASIGNACIÓN DE PERSONAL A HORARIOS DE
TRABAJO EMPLEANDO PROGRAMACIÓN LINEAL: EL CASO DE UNA EMPRESA DE
ATENCIÓN TELEFÓNICA EN MÉXICO

Investigación Administrativa, núm. 115, enero-junio, 2015, pp. 41-54

Escuela Superior de Comercio y Administración, Unidad Santo Tomás

Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=456044958003>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

TOMA DE DECISIONES EN LA ASIGNACIÓN DE PERSONAL A HORARIOS DE TRABAJO EMPLEANDO PROGRAMACIÓN LINEAL: EL CASO DE UNA EMPRESA DE ATENCIÓN TELEFÓNICA EN MÉXICO

DECISIONS ON THE ALLOCATION OF STAFF TO WORK SCHEDULES USING LINEAR PROGRAMMING: THE CASE OF A COMPANY CALL IN MEXICO

Raúl Ojeda Villagómez (1)

ABSTRACT

It is important that management has a suitable amount of information and tools to improve the quality of customer service provided by the staff, and to have a proper decision making process (which is important for telephone operators). This research posits that by using genetic algorithms, a more efficient model is obtained, which compared to traditional methods, provides solutions to problems faced when allocating telephone operators to work shifts. Decisions regarding response time have to be made, and must conform to international standards; decision makers often deal with a complex relationship between large amounts of information and numerous variables. Hence the interest of this study: How to solve more efficiently the complex problem of allocating telephone operators to work shifts in a large Mexican call center company? In order to incorporate work shifts combinations for different call center, organize telephone operators' shifts, as well as their breaks, and off service hours, which have an impact on customers' satisfaction.

Key words: PL linear programming, AG genetic algorithms, ETP employee timetabling problem.

41

RESUMEN

Es importante que el directivo cuente con la cantidad adecuada de información y las herramientas necesarias para mejorar la calidad del servicio del personal que atiende al cliente y realizar una adecuada toma de decisiones, que es el caso de los operadores telefónicos, en las empresas telefónicas. La presente investigación postula que *mediante algoritmos genéticos se obtiene un modelo que proporciona una solución más eficiente que los métodos tradicionales a problemas de asignación de horarios de trabajo de las operadoras telefónicas*. Se tiene que tomar una decisión en cuanto al tiempo de respuesta, con las medidas de calidad del ámbito internacional, donde quien toma la decisión frecuentemente tendrá que enfrentarse a un gran volumen de información con un gran número de variables y una compleja relación entre ellas. De ahí el interés del presente estudio: *¿Cómo modelar y resolver de manera más eficiente un problema complejo de asignación de personal a horarios de trabajo en una gran empresa de atención telefónica mexicana?*, a efecto de incorporar las combinaciones de horarios de trabajo de las centrales telefónicas y de los turnos que tienen las operadoras telefónicas, así como sus descansos y el tiempo no disponible para atender un cliente, lo cual incide en la satisfacción del cliente.

Palabras clave: PL programación lineal, AG algoritmos genéticos, ETP problemas de asignación de personal a horarios de trabajo.

Clasificación JEL: C61.

(1) Dr. en Administración con especialidad en sistemas de información por el Instituto Tecnológico de Monterrey, miembro del Comité del Programa de Posgrado en la FCA, UNAM, rojeda@unam.mx

INTRODUCCIÓN

Dado el complejo ambiente competitivo que existe en la actualidad dentro del mercado, se hace más evidente la necesidad de incorporar nuevos indicadores del desempeño de las organizaciones que no se relacionen directamente con las métricas financieras. Hoy en día se ha vuelto fundamental disponer de información fidedigna en el tiempo justo y en el lugar correcto para la toma de decisiones y la evaluación del desempeño de las organizaciones.

Es muy importante que el directivo cuente con la cantidad adecuada de información y con las herramientas necesarias para mejorar la calidad del servicio del personal que atiende al cliente, que es el caso de las operadoras telefónicas en las empresas del mismo ramo.

El presente trabajo postula que *mediante algoritmos genéticos se obtiene un modelo que proporciona una solución más eficiente que los métodos tradicionales a problemas de asignación de horarios de trabajo de las operadoras telefónicas*. Se dispondrá de información precisa y confiable para atender la problemática relacionada con situaciones en las que se tiene que tomar una decisión en cuanto al tiempo de respuesta, ya que esta respuesta es directamente proporcional con las medidas de calidad exigidas en el ámbito internacional y donde quien toma la decisión frecuentemente tendrá que enfrentarse a un gran volumen de información con un gran número de variables y una compleja relación entre ellas, a efecto de incorporar las combinaciones de horarios de trabajo de las centrales telefónicas y de los turnos que tienen las operadoras telefónicas, así como sus descansos y el tiempo no disponibles para atender a un cliente, lo cual incide en la satisfacción del cliente.

Para establecer la asignación del personal a los horarios de trabajo, primeramente se considera el volumen de trabajo, esto es, la cantidad de tiempo que un cliente ocupa el teléfono solicitando información a las operadoras. Este volumen de trabajo se tiene en una bitácora de registro por cada $\frac{1}{4}$ de hora en el día, donde el historial sirve para determinar el número de operadoras que se requiere para atender la demanda de servicio. Dicha información será utilizada para alimentar el modelo de series de tiempo para el pronóstico de la demanda.

En combinación con el *pronóstico de la demanda y los turnos de trabajo* se forman las alternativas en los horarios de trabajo para que laboren las operadoras, las cuales son mayores a medida que se incrementa el número de trabajadores; por ejemplo, si se tienen tres turnos y cinco trabajadores, el número de alternativas sería según la primera regla de conteo de Levin (2013) de $3^5 = 243$ maneras diferentes de asignar trabajadores a los turnos.

La situación que realmente va a ser reflejada a lo largo del proyecto es la siguiente: al tener que considerar los horarios de entrada, salida, descansos y, sobre todo, que la atención y los segmentos de intervalo de tiempo de atención están dados por cada 15 minutos, actualmente se tienen 5 000 turnos (hay que considerar que en otras partes del mundo sólo tienen tres turnos, pero en México por sus diversos convenios con el sindicato se dan muchas vertientes). Esta cantidad de turnos se debe a las pausas de trabajo requeridas dentro de la jornada de trabajo, y como existe una población que excede las 3 000 operadoras, se obtiene un total de 5000^{3000} maneras diferentes de asignar los trabajadores a los turnos.

De esta manera, se trabaja con dos conjuntos que tienen grandes volúmenes de información, no puede segmentarse el conjunto de operadoras por diversas situaciones, como el sindicato, el lugar geográfico, la situación laboral, entre otros aspectos; pero sí es posible segmentar el conjunto en un subconjunto de 67 turnos y emplear los más adecuados con base en la demanda derivada al momento de elegir la combinación de una población de 5 000 turnos. *La cantidad de subconjuntos que se forman son más de 10 elevado a la potencia de 153 (10^{153})*, por lo que cada subconjunto está representando una agrupación de turnos susceptibles de ser asignados a las operadoras telefónicas; de dicha cantidad se eligen los turnos más representativos (a partir de la demanda del cliente) y, posteriormente, se asigna el personal a los turnos elegidos. Como consecuencia, se torna complejo poder operarlo de manera matemática. Tal información manifiesta que de sólo listar las posibles combinaciones no se acabaría en varios años. Si de las miles de combinaciones de turnos se toma una muestra, esto es, se segmentan los turnos para incorporarlos al modelo de programación lineal (PL), se obtiene una solución con un óptimo local.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con base en lo anterior, y dado el complejo ambiente competitivo que existe actualmente dentro del mercado de las empresas telefónicas, se hace más evidente la necesidad de incorporar nuevos indicadores del desempeño de las organizaciones que no se relacionen directamente con las métricas financieras. En la actualidad se ha vuelto esencial disponer de información fidedigna en el tiempo justo y en el lugar correcto para tomar decisiones y evaluar el desempeño. Es sumamente importante que el directorio cuente con la cantidad adecuada de información y con las herramientas necesarias para mejorar la calidad en el servicio del personal que atiende al cliente, como las operadoras telefónicas, de las empresas del mismo ramo. Entonces, *¿cómo modelar y resolver de manera eficiente un problema complejo de asignación de personal a horarios de trabajo en una gran empresa de atención telefónica mexicana, a efecto de incorporar las combinaciones de horarios de trabajo de las centrales telefónicas y de los turnos que tienen las operadoras telefónicas, así como sus descansos y el tiempo no disponible para atender un cliente, lo cual incide en la satisfacción del cliente?*

La demanda de operadoras telefónicas en el país depende de los centros telefónicos ubicados estratégicamente en las ciudades más pobladas; sin embargo, hay centrales que sólo trabajan ocho horas diarias y el país requiere atención las 24 horas del día, entonces resulta crucial la distribución óptima de recursos basada en una herramienta cuantitativa de asignación de recursos que ayude en esta tarea.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Elaborar un modelo de programación lineal que contribuya a resolver el problema de asignación de personal a los diferentes horarios de trabajo en un centro de atención telefónica que tiene 181 operadoras con 67 horarios diferentes de trabajo.

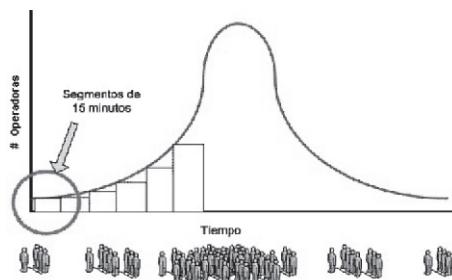
Validar el funcionamiento del modelo de la representación del problema de asignación de personal a horarios de trabajo con sus diversas variantes.

Aplicar el problema de asignación de personal a horarios de trabajo en sus diversas variantes y

comparar los resultados con los esperados en la realidad.

Comparar el modelo de Programación Lineal versus un modelo tradicional.

Gráfica 1. La asignación de personal a horarios de trabajo



Fuente: Elaboración propia.

Al tener que considerar los horarios de entrada, salida descansos y, sobre todo, que la atención y los segmentos de intervalo de tiempo de atención están dados por cada 15 minutos (véase la gráfica 1), actualmente se tienen 5 000 turnos. Esta cantidad de turnos se debe a las pausas de trabajo que se requieren dentro de la jornada de trabajo: al momento de elegir un subconjunto de 67 horarios, *la cantidad de subconjuntos que se forman son más de 10 elevado a la potencia de 153* (10^{153}). Es decir, de esta cantidad tan inmensa se eligen los turnos más representativos (a partir de la demanda del cliente) y, posteriormente, se asigna el personal a los horarios elegidos, por lo que se torna complejo poderlo operar de manera matemática. En ese sentido, se presenta la siguiente hipótesis:

Los modelos de algoritmos genéticos incorporados a la programación lineal proporcionan una solución más eficiente para resolver un problema complejo de asignación de personal a horarios de trabajo.

De la anterior aseveración se desprende que la variable dependiente del estudio recae en la asignación de personal a horarios de trabajo en la empresa telefónica y, en contraparte, la independiente se encuentra representada por el modelo de programación lineal, y en torno de las cuales se circunscribe el contexto del estudio.



JUSTIFICACIÓN

La idea del proyecto de investigación surgió al momento de conocer la problemática de una empresa que tenía 4 230 horarios de trabajo para el área de tráfico de llamadas telefónicas y 770 horarios de trabajo para los supervisores, de modo que la cantidad exacerbada de horarios y la aparente situación para aminorarlos atrajo la atención de la presente investigación, cuando en otras partes del mundo se manejan alrededor de tres horarios. Las inquietudes que surgieron están vinculadas con servicio, calidad, prestaciones sindicales, entre otros factores.

El tiempo de respuesta que ofrecen las operadoras telefónicas al brindar el servicio al cliente es una de las principales formas de medir la calidad en los centros de atención telefónica (*call center*). En otros términos, cuando un cliente descuelga el aparato telefónico y marca uno de los servicios de operadora (por ejemplo el 040 de información nacional), desde que suena el primer timbre y hasta el momento en que contesta la operadora, se mide cuánto tiempo transcurrió, de manera que el tiempo transcurrido constituye la respuesta al cliente y debe ser muy breve e incluso puede haber demandas al no cumplir con ciertas necesidades del país. Mediante el estudio se ofrece una solución a las empresas telefónicas de México que beneficie a sus clientes con base en la eficiencia en la asignación de horarios de trabajo de sus operadoras telefónicas.

En este trabajo se presenta el diseño de un algoritmo genético que pretende dar una solución óptima de un modelo matemático de asignación de personal que permite determinar la cantidad de recursos que se debe asignar a cada centro telefónico del país, por estado, tomando en cuenta el índice de calidad (ANS) por cada servicio y algunas consideraciones sindicales, manejando un número muy grande de variables, que es introducido en las restricciones del modelo de PL.

Se dispone de información precisa y confiable para la atención a la problemática relacionada con situaciones en las que debe tomarse una decisión relativa al tiempo de respuesta, ya que la misma es directamente proporcional a las medidas de calidad en el ámbito internacional y donde quien toma la decisión frecuentemente se enfrenta a un gran volumen de información con

un importante número de variables y una compleja relación entre ellas. De ahí el interés del presente estudio.

LITERATURA REVISADA PARA LOS MODELOS DE LA ASIGNACIÓN DE PERSONAL

En los modelos de la asignación de personal para los centros de atención telefónica la toma de las decisiones que se efectúa es en condiciones de riesgo, en el aspecto de que no sabemos con certeza cuántas personas van a llamar, ni la hora exacta, ni cuánto van a durar en la llamada. Sin embargo, los modelos de asignación de personal como casos especiales del modelo de programación lineal incorporan certidumbre, pero en el mundo real pocas situaciones de decisión se dan bajo condiciones de certeza. Por ejemplo, las decisiones que se toman para determinar cuántas estaciones de trabajo deben colocarse en relación con el edificio donde se ubica el centro de atención telefónica se realizan en condiciones de certeza, pero si se presenta una contingencia como un temblor, un desastre natural, seguramente estaremos en condiciones de incertidumbre completa, sin embargo, debe tomarse una decisión de cuántas personas tendrán que asignarse a cada una de las estaciones de trabajo del centro de atención telefónica.

Para solventar esta asignación de personal a horarios de trabajo se han presentado a lo largo del tiempo diversas maneras para hacerlo de la mejor forma, en las que se involucran restricciones duras y suaves.

Fernández (2003, p. 26) señala que “uno de los principales problemas que aparecen cuando se maneja optimización de horarios es [la manera de] introducir muchas restricciones en un algoritmo y [cómo] asignarle el peso apropiado”. Esto es lo que nos va a dar pauta para determinar cómo se abordará el problema.

La regulación de las restricciones son intrínsecas al problema en sí, por ejemplo, al tener un horario después de las 20 horas, automáticamente se convierte en un turno nocturno, por lo que el empleado debe trabajar una hora menos con respecto al turno diurno. Estas restricciones no están enunciadas dentro del problema, pero al contemplar los diversos turnos indirectamente se están tomando en cuenta. Demassey & Pesant

(2005, p. 10) señalan cinco clases de restricciones:

1. Asignaciones permitidas o prohibidas
2. Reglas de cardinalidad
3. Reglas de ajuste
4. Reglas de secuencia
5. Reglas condicionales

En los estudios reportados en la literatura para los problemas de asignación de personal a horarios de trabajo se utiliza el término *Employee Timetabling Problem* (ETP), en ellos se mencionan las características que deben tenerse en cuenta cuando se enfrenta un problema de este tipo. Por ejemplo, cuando se tiene que trabajar con un gran número de variables la cuestión es cómo podemos determinar que la solución que presentamos es la adecuada, pues al trabajar con modelos heurísticos es difícil determinar cuál es la solución adecuada.

Los problemas planteados en el ETP pueden ser resueltos en dos fases, según Demassey y Pesant (2005, p. 7): la primera fase consiste en diseñar los posibles horarios según las restricciones que los regulan; en la segunda fase hay que considerar el criterio de optimización para elegir el subconjunto de horarios para asignar al personal.

Una característica muy particular del centro de atención telefónica más grande de México es el contrato colectivo de trabajo en donde manejan varios descansos, lo cual vuelve aún más complejo el manejo del problema. Estos diversos descansos algunos autores los llaman ranuras del tiempo (Konstantinos, 2014).

Es necesario aclarar que el modelo propuesto para la solución de asignación de personal a horarios de trabajo es genérico, ya que si fuera específico para resolver un problema del *call center* se tendría como desventaja que un ligero cambio de la especificación del problema frecuentemente provocaría un completo rediseño de la estructura de datos y algoritmos, como lo menciona Gröbner (2003, p. 24).

La manera como se ha intentado resolver en otras investigaciones los problemas de asignación de horarios de trabajo (ETP) con gran volumen de restricciones ha sido con métodos heurísticos (algoritmos genéticos, redes neuronales, restricciones de programación

(Demasey, 2005). El presente trabajo combina el método heurístico con un método matemático, por lo que es pionero en su ámbito, ya que la parte matemática permite determinar la viabilidad que tiene la parte heurística, además de validarla.

Un aspecto interesante de la aplicación que ocurre en la vida real es que las operadoras, aunque tienen la obligación de trabajar, por una u otra razón no se presentan o bien le cambian el turno a otra trabajadora. Para ver otros aspectos que influyen véase a Meisels (2007).

Yigit (2007) menciona las restricciones típicas duras y las restricciones típicas blandas, la primera restricción que menciona es que "ningún maestro puede tomar dos clases diferentes al mismo tiempo". Trasladando la restricción a nuestro caso se tendría: ninguna operadora puede tener dos turnos diferentes el mismo día, sin embargo, como se ha comentado, se toma a las operadoras como indistinguibles, ya que como hay más de tres mil operadoras se volvería casi imposible manejar una por una.

Para el caso de las restricciones suaves, Yigit (2007) menciona: "Ni los estudiantes ni los maestros deben tener horarios con muchos espacios vacíos entre lecciones". Nuevamente, trasladando esta propuesta al caso que estamos abordando, las operadoras no debieran tener muchos espacios o descansos entre sus horarios de trabajo en un mismo día. No obstante lo anterior, estos descansos y espacios ya están acordados entre la empresa y el sindicato, pues las operadoras tienen horarios mixtos en función de los acuerdos establecidos. Es decir, estos horarios mixtos están entre los turnos diurno y nocturno. En ese sentido, en aquéllos ya está contemplada la restricción, puesto que trabajan media hora menos que el turno diurno y no salen tan noche o de madrugada como en el turno nocturno.

En la literatura internacional relacionada con el tema se mencionan muchos casos, como el del hospital italiano (Bellanti, Carello, Della Croce, & Tadei, 2004) *call center's*, para describir los problemas de los ETP. Sin embargo, lo interesante es cómo manejar el gran número de alternativas que pueden incorporarse al modelo.



METODOLOGÍA PARA LA ASIGNACIÓN DE HORARIOS DE TRABAJO

Para comprobar la hipótesis se utiliza el modelo de programación lineal (PL).

Programación lineal

Este modelo busca asignar una cantidad de operadoras telefónicas en determinada duración de la jornada laboral, las cuales deben trabajar en cierto horario y tomar su pausa de descanso. Además, tienen como restricciones las necesidades de operadoras por $\frac{1}{4}$ de hora y los programas de horarios permisibles y, como objetivo, minimizar el total de horas de teleoperación de operadoras asignadas en función de la demanda del cliente.

Una vez determinada la demanda por cada $\frac{1}{4}$ de hora en el día, se identifican las funciones objetivo que deben optimizarse en cuanto al modelo de programación lineal. Estas funciones objetivo son:

Minimizar:

La suma del número de operadoras presentes que van a estar asignadas a cada uno de los 67 turnos.

Restricciones:

96 ecuaciones, una por cada $\frac{1}{4}$ de hora en el día, en donde se indicará la suma del número de operadoras presentes, ubicadas en los turnos que abarca cada $\frac{1}{4}$ de hora, la cual debe ser mayor o igual a la demanda de operadoras requeridas para cada $\frac{1}{4}$ de hora por cada intervalo de tiempo.

Para cada turno pueden estar asignadas varias operadoras o ninguna (0 a n).

Características del centro de atención telefónica

Con el propósito de validar los modelos propuestos, en el contexto del centro de atención telefónica más grande del país, se utilizó el centro de atención de Guadalajara como objeto de estudio, puesto que éste permitía manejar las alternativas con PL. En este centro se cuenta con 181 operadoras de tráfico, se utilizan todos los turnos disponibles en el ámbito nacional, que son 5 000, pero para fines prácticos los expertos del

área de tráfico toman sólo una muestra de 67 turnos. Esta cantidad menor de turnos ya la acepta el modelo de PL.

Analizando el total de posibles asignaciones se utiliza la fórmula de combinaciones con repeticiones:

$$\frac{(n-1+k)!}{k!(n-1)!} = \frac{(4999+181)!}{181!4999!} = 2.2445 \times 10^{339}$$

Sin embargo, las posibles asignaciones se dividen en dos fases: la primera fase es la elección de turnos basada en la fórmula de la combinación (Levin & Rubin, 2013). Una muestra de 67 turnos de un total de 5 000 arroja:

$$\frac{n!}{k!(n-k)!} = \frac{5000!}{67!4933!} = 1.1916 \times 10^{153}$$

La segunda fase incorpora los 67 turnos y las 181 operadoras. Si se considera a las operadoras como distinguibles, se emplea la fórmula de variaciones con repeticiones y se obtiene:

$$67^{181} = 3.3078 \times 10^{330}$$

No obstante, las operadoras son indistinguibles, por lo que se hace uso de la fórmula de combinaciones con repeticiones, a saber:

$$\frac{(n-1+k)!}{k!(n-1)!} = \frac{(66+181)!}{181!66!} = 1.0580 \times 10^{61}$$

Este principio de algoritmo genético (AG) toma dos alternativas y las combina para generar una nueva alternativa, la cual puede ser parecida a las alternativas anteriores o una muy distinta, lo que permite vislumbrar varias alternativas. (Para una mejor comprensión del tema de AG consulte Goldberg, 1989). Por lo que el AG resuelve la primera fase: la elección de una de las alternativas de combinaciones de 1.1916×10^{153} , mientras que el modelo de PL resuelve la alternativa de asignación de un total de 1.0580×10^{61} . Con esto se observa que el resultado que arroje el AG es la entrada del modelo de PL, por lo que si el AG proporciona una mala agrupación de turnos, el PL resulta en un valor óptimo local no adecuado.

Con los resultados del modelo de PL es posible validar el modelo AG, lo cual se realiza mediante el porcentaje de ocupación y, en el entendido de que se emplea un problema de minimización de



asignación de personal, cuando se ocupa al personal al 100%, se obtiene el mejor resultado.

De esta manera se aprecia que la serie de tiempo proporciona el pronóstico de la demanda del cliente y el AG proporciona un grupo de turnos que se ajusta mejor a la demanda del cliente; la demanda pronosticada y un grupo de turnos que se ajustan a la demanda del cliente son incorporados al modelo de PL que, a su vez, proporciona la optimización de la asignación del personal, por lo que cada herramienta hace lo necesario para obtener una solución.

En el modelo de PL, que va a contener las agrupaciones de turnos y 96 restricciones por cada $\frac{1}{4}$ de hora que hay en el día, cada restricción debe ser igual o mayor a la demanda que se generó a través del pronóstico. Se consideran sólo 67 turnos, esto se debe a que se produce una matriz muy grande para poder introducirla al modelo de PL, por lo que tenemos un modelo con una matriz de 67 turnos por 96 restricciones, lo que nos da un total de 6 432 celdas, es decir, serían 6 432 variables. Este volumen de variables es manejable en los paquetes comerciales que hay en el mercado, como lo es LINDO y Solver de Microsoft Excel.

La metodología a seguir, elaborada por Schmidt (1979, p. 175), propone varias etapas para investigar las propiedades y el comportamiento de un sistema real. Esta metodología es una de las más completas, por ello se utiliza en el presente trabajo:

- A. Definición del problema
- B. Definición de las variables en el modelo
- C. Formulación del modelo (adecuado con base en las necesidades del sistema)
- D. Preparación de datos
- E. Traslación del modelo
- F. Validación del modelo
- G. Experimentación
- H. Análisis, interpretación y resultados del modelo
- I. Implantación y uso del modelo

Se analizaron los resultados con el pronóstico de la demanda en el modelo PL y con la agrupación de turnos con base en la experiencia actual, posteriormente se ejecutó el modelo PL con la agrupación de turnos.

A. Definición del problema

Los problemas de asignación de personal a horarios de trabajo (ETP) (Meissels & Solotorevsky, 1997) se refieren a la asignación de empleados a tareas y a su vez a turnos donde se establece su inicio y término de la jornada laboral. Hay m empleados E_1, \dots, E_m , n turnos T_1, \dots, T_n , compuestos por r horarios H_1, \dots, H_r y p descansos D_1, \dots, D_p . En este caso, como la tarea es la misma para todos los empleados: contestar el teléfono, no se considera este componente. Por lo que se necesita encontrar una matriz 3-dimensión binaria X_{mrxp} , así como $X_{ijk} = 1$, si el empleado E_i es asignado a horario H_j con descanso D_k . Las restricciones del problema pueden ser agrupadas en los siguientes puntos:

Requerimientos: Cada turno está compuesto por un horario fijo y un número de descansos, que puede ser uno o varios. Un empleado es asignado a un turno y éste a su vez tiene asociado un descanso; es decir, cada descanso D_k pertenece a un horario H_j que a su vez conforman un turno T_i . Lo anterior está dado por una matriz de enteros no negativos R_{nxt} llamada Matriz de requerimientos, así como R_{jk} denota el número de ocurrencias del descanso D_k en el turno T_j , el cual corresponde exactamente al número de empleados que tienen que ser asignados al turno T_j con descanso D_k .

Descanso: Cada empleado tiene derecho a tomar cuando menos un intervalo de descanso dentro de su turno.

Disponibilidad: Hay preferencias personales de los empleados cuya restricción es asignada sólo a un subconjunto de turnos. Estas restricciones son representadas por una matriz binaria de disponibilidad A_{mxn} donde $A_{ij} = 1$ si el empleado E_i está disponible para el turno, y T_j y $A_{ij} = 0$ si no está disponible.

Conflictos: Un empleado no puede ser asignado a dos turnos que estén en conflicto - solapamiento, consecutivo o combinación-, debido a que estén prohibidos por las reglas de la organización o del sindicato. Los conflictos pueden variar para diferentes empleados (en función de las diferentes situaciones laborales) y son descritos por una matriz 3-dimensión binaria de conflictos C_{nxnxm} , así como si $C_{j1|j2} = 0$, entonces el empleado E_i no puede ser asignado a ambos turnos S_{j1} y S_{j2} .



Carga de trabajo: Hay un número diferente de intervalos de tiempo que contiene cada turno, ya que deben cubrirse las 24 horas del día, puesto que hay turnos nocturnos, diurnos y mixtos. Por lo tanto, se define un conjunto de turnos G_1, \dots, G_s , cada uno agrupando una clase específica de turnos.

B. Definición de las variables en el modelo

Variables en el centro de atención telefónica

ANS: *Answer.* Es el promedio en segundos que el cliente espera para ser atendido por una operadora.

AWT: *Average Work Time.* Es el promedio en segundos en que la operadora atiende un determinado tipo de servicio.

CBWV_CCS: *Call Business Work Volume.* Total de tiempo en cientos de segundos (CCS) en el que el sistema contabiliza a las operadoras que están atendiendo clientes.

CW_CCS: *Call Waiting.* Es el total de tiempo en cientos de segundos en que los clientes esperan para ser atendidos.

IDLT_CCS: *Idle Time.* Contabiliza en cientos de segundos el tiempo en que la operadora se encuentra disponible para atender una llamada.

IPS: *Initial Position Seasure.* Total de llamadas iniciales que llegan a las posiciones para ser atendidas por las operadoras.

NCWV_CCS: *No Call Bussie Work Volume.* Total de tiempo en cientos de segundos en el que las operadoras están no disponibles para recibir llamadas.

PS: *Position Seasure.* Totaliza los IPS, RPS y TPS.

RPS: *Recall Position Seasure.* Rellamadas que requieren nuevamente la atención de una operadora.

TPS: *Transfer Position Seasure.* Transferencias de llamadas que requieren la atención de otra operadora.

WV_CCS: *Work Volume.* Es la suma del CBWV_CCS y el NCWV_CCS.

%OCC: Es el porcentaje de tiempo en que las operadoras estuvieron ocupadas o no disponibles para atender un cliente.

En el WV_CSS el volumen de trabajo está en cientos de segundos y los períodos son por cada 15 minutos, por lo que hay que dividir entre 900 segundos, es decir, entre 9 CSS si las operadoras trabajaran a 100%, por lo que se considera que trabajan a 84 % de su capacidad de atención. Esto es, el %OCC se considera de 16%. Este 84% de ocupación de los operadores telefónicos es un convenio entre empresa y sindicato y está reflejado en el contrato colectivo de trabajo.

La fórmula para obtener el número de operadoras para atender el servicio está dada por: $WV_{CSS}/(9 * 0.84)$.

Variables en el modelo

Demandas de las operadoras: Operadoras que se requieren para atender el volumen de trabajo por cada cuarto de hora:

Turno diurno: Comprende de las 7:00 a.m. a las 20:00 horas y tiene una duración de ocho horas con una hora de descanso, por lo que quedan 28 intervalos de $\frac{1}{4}$ de hora laborable. (cláusula 77 del contrato colectivo de trabajo de Teléfonos de México.)

Turno nocturno: Comprende de las 20:00 p.m. a las 7:00 horas del día siguiente y tiene una duración de siete horas con una hora de descanso, por lo que quedan 24 intervalos de $\frac{1}{4}$ de hora laborable.

Turno mixto: Comprende de las 05:00 a.m. a las 22:00 horas y tiene una duración de 7.5 horas con una hora de descanso, por lo que quedan 26 intervalos de $\frac{1}{4}$ de hora laborable.

C. Formulación del modelo (adecuado con base en las necesidades del sistema)

Modelo de programación de horarios

Para elaborar un programa de horarios que satisfaga las necesidades de operadoras, por $\frac{1}{4}$ hora, se formulará un modelo de programación lineal entera (PL).

Este modelo busca precisar la cantidad de operadoras telefónicas de determinada



modalidad, duración de la jornada laboral que deben trabajar en un horario específico y tomar su pausa de descanso. Además, tienen como restricciones las necesidades de operadoras por $\frac{1}{4}$ de hora y los programas de horarios permisibles y, como objetivo, minimizar los costos de contratación y las desviaciones en cuanto a las necesidades.

Función objetivo: Minimizar la cantidad de operadoras que se requieren para cubrir la demanda en el centro de atención telefónica en los diferentes horarios de trabajo.

Modelo de la programación lineal

$$\min Z = \sum_{i=1}^{67} \sum_{k=1}^{96} C_i X_{ik}$$

Sujeta a las siguientes restricciones:

$$\sum_{i=1}^{67} X_{ik} = 1 \quad \text{(para } i = 1 \dots 67 \text{ horarios diferentes de trabajo)}$$

$$\sum_{i=1}^{96} C_i X_{ik} \geq Demanda_k \quad \text{(para } k = 1 \dots 96 \text{ cuartos de hora del día)}$$

$$C_i \geq 0; \quad X_{ik} \geq 0$$

donde:

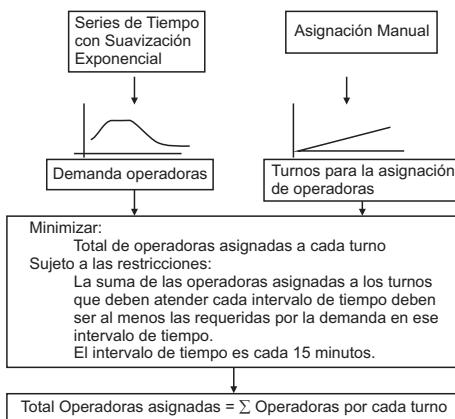
C_i : cantidad de operadoras telefónicas presentes asignadas al horario " X_i "
 X_{ik} : número de horario " X_i " asignado al periodo k
 $Demandas$: demanda de operadoras telefónicas necesarias para el Periodo k
 $Periodo_k$: periodo de tiempo " k " en intervalos de quince minutos en los que se divide el día

cubre el periodo k

$$X_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{Si el horario } X_i \\ 0, & \text{en cualquier otro caso} \end{cases}$$

Reducción y abstracción del sistema real a un diagrama de flujo lógico del modelo de asignación de operadoras, considerando todas las variables a incorporar en el modelo (Coss Bu, 1993).

Figura 1. Modelo de la programación de horarios en PL



Fuente: Elaboración propia con base en el diagrama de COSS BU (1993) para el análisis y evaluación de proyectos de inversión.

D. Preparación de datos (fundamentos)

Modelo de programación lineal

Como se tienen 5 000 turnos sólo se elegirán los 67 turnos más representativos. Estos turnos se eligieron de manera manual, con base en la experiencia del jefe de la oficina de tráfico, y además el software no admite más variables. De esta manera ya pueden introducirse los turnos y establecer las ecuaciones con coeficientes estructurales dentro de la programación lineal con estos turnos y se obtiene el *resultado óptimo para estos valores*.

E. Translación del modelo (marco de referencia)

En primer lugar se tienen los *horarios de los turnos*, en donde aparece por cada turno qué períodos abarca, incluyendo sus descansos. Este modelo se denominará *modelo funcional*. Con éste puede identificarse por cada turno qué $\frac{1}{4}$ de hora está cubriendo, es decir, el horario de los turnos versus los 96 intervalos de tiempo.

Se describe el modelo en un lenguaje aceptable para la computadora que se usará: el software de programación LINDO versión 6.1.



Determinar los criterios de evaluación

Deben elegirse los turnos que cubran mayormente las necesidades de la empresa, es decir, los turnos que atiendan a más clientes. Esto se dificulta porque hay que considerar los intervalos de tiempo en que toma descanso el trabajador. Sean:

D_i = número de operadoras telefónicas que laboran en el turno diurno con su respectivo descanso donde $i = 1 \dots 26$

N_j = número de operadoras telefónicas que laboran en el turno nocturno con su respectivo descanso, donde $j = 1 \dots 27$

M_k = número de operadoras telefónicas que laboran en el turno mixto con su respectivo descanso, donde $k = 1 \dots 14$

Por lo tanto, son un total de 67 variables de los turnos. En una tabla con cinco columnas se muestran como "horarios de turnos para el modelo de programación lineal", la primera define la variable que representa el turno, las dos siguientes representan la entrada y salida laboral para ese turno y las dos últimas son el inicio y fin del periodo de descanso.

Modelo de programación lineal

Características del sistema bajo estudio: Esta asignación de personal a los horarios de trabajo lo realizan 40 personas de manera manual y se tardan alrededor de tres semanas. Para llegar a este resultado es decir, la asignación de personal bajo estas características dio un resultado de 158 personas. Sin embargo, esto puede representarse en términos de PL, lo cual se muestra a continuación:

Figura 2. Modelo programado en PL (LINDO versión 6.1)

Minimizar
 $\text{Horario}_{11} + \text{Horario}_{12} + \dots + \text{Horario}_{67}$
 Restricciones
 Periodo₁) $\text{horario}_{11} + \text{horario}_{12} + \dots + \text{horario}_{67} \geq \text{demanda operadora}_1$
 Periodo₂) $\text{horario}_{11} + \text{horario}_{12} + \dots + \text{horario}_{67} \geq \text{demanda operadora}_2$

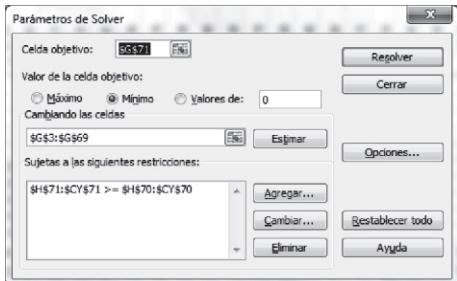
 Periodo₉₉) $\text{horario}_{11} + \text{horario}_{12} + \dots + \text{horario}_{67} \geq \text{demanda operadora}_{99}$

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Modelo programado en Solver de Excel versión 2007

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Parámetros de Solver para resolver PL



Fuente: Elaboración propia.

F. Validación del modelo

Validación interna

Debe validarse que cada horario cubra exactamente su periodo correspondiente, es decir, el turno diurno sólo cubre 28 intervalos de $\frac{1}{4}$ de hora, el turno nocturno cubre 24 intervalos de $\frac{1}{4}$ de hora y el turno mixto cubre 26 intervalos de $\frac{1}{4}$ de hora. Por ejemplo, si el horario es de 7:00 a 14:00 horas, el intervalo cubierto para este turno es de 7:00 a 13:45, ya que si se incluyen las 14:00 horas correspondería de 14:00 a 14:15. Si se toma en cuenta que en el modelo de PL cada columna representa un turno y cada fila representa cada $\frac{1}{4}$ de hora del día, cada columna no debe exceder la cobertura de cada turno. Por ejemplo, un error sería tener 29 intervalos de $\frac{1}{4}$ de hora cubiertos por algún turno, ya que el

máximo permitido es el turno diurno que acepta hasta $28 \frac{1}{4}$ de hora, es decir, la frecuencia del turno diurno en los 96 períodos del día es de 28.

Validación externa

Al momento de comparar los *resultados* que se obtuvieron de forma manual (realizarlos ocupó 40 personas durante tres semanas) contra el modelo de PL, con las mismas restricciones (ejecutarlo llevó menos de cinco minutos), se muestra que el modelo de PL da el mismo resultado de 158 personas, con los obvios beneficios de ahorro de tiempo y recursos.

Para validar esta comparación es preciso basarse en el modelo funcional: por cada $\frac{1}{4}$ de hora que hay en el día habrá que compararla contra los horarios que se obtuvieron y asignarles a cada $\frac{1}{4}$ de hora la cantidad de operadoras resultantes; la suma de cada $\frac{1}{4}$ de hora debe ser igual o superior a la requerida que se obtuvo a través de la serie de tiempo. Para esquematizar esta parte se elaboró una matriz en una hoja de cálculo: por cada fila se asignan los turnos que se requieren y en las columnas se registran los 96 períodos del día, y a cada periodo, con base en el turno, se le asignan las operadoras contempladas en su turno. Como puede deducirse, la suma por periodo debe igualar o superar a lo requerido por cada periodo. Por lo anterior, es factible validar que el modelo PL sí está funcionando adecuadamente y que en un tiempo más corto se obtiene el mismo resultado, además de que se está corriendo el programa con un software comercial probado y validado en la industria.

G. Experimentación

Modelo de programación lineal

Se muestra la salida del programa para generar los datos deseados y efectuar el análisis de sensibilidad. Por razones de espacio no se registra completa la codificación de la PL.

Donde hay 96 restricciones por cada $\frac{1}{4}$ de hora que hay durante el día, cada restricción contiene los turnos que abarca este $\frac{1}{4}$ de hora y señala cuántas operadoras deben estar cubriendo este $\frac{1}{4}$ de hora.

Por ejemplo: la restricción de las 7:00) la cubren los turnos D002 al D015, puesto que el inicio de

turno es a las 7:00 am; para esta restricción no hay ningún turno de noche y los turnos mixtos que lo cubren empiezan a laborar antes de las 7:00 am, y son M001, M002 y del M004 al M014. Además, deben ser al menos 21 operadoras telefónicas, por eso tiene el signo \geq

Figura 5. Modelo PL para la asignación de horarios de trabajo para 67 turnos

MINIMIZAR	
RESTRICCIONES	
07:00)	+D002 +D003 +D004 +D005 +D006 ... +M010 +M011 +M012 +M013 +M014 \geq 21
07:15)	+D002 +D003 +D004 +D005 +D006 ... +M010 +M011 +M012 +M013 +M014 \geq 19
07:30)	+D002 +D003 +D004 +D005 +D006 ... +M010 +M011 +M012 +M013 +M014 \geq 23
07:45)	+D002 +D003 +D004 +D005 +D006 ... +M010 +M011 +M012 +M013 +M014 \geq 23
08:00)	+D001 +D002 +D003 +D004 +D005 +D006 ... +M010 +M011 +M012 +M013 +M014 \geq 27
08:15)	+D001 +D002 +D003 +D004 +D005 +D006 ... +M010 +M011 +M012 +M013 +M014 \geq 26
08:30)	+D001 +D002 +D003 +D004 +D005 +D006 ... +M010 +M011 +M012 +M013 +M014 \geq 30
08:45)	+D001 +D002 +D003 +D004 +D005 +D006 ... +M010 +M011 +M012 +M013 +M014 \geq 27
09:00)	+D001 +D002 +D003 +D004 +D005 +D006 ... +M011 +M012 +M013 +M014 \geq 36
09:15)	+D001 +D002 +D003 +D004 +D005 +D006 ... +M011 +M012 +M013 +M014 \geq 42
	...
05:00)	... +M010 +M011 +M012 +M013 \geq 9
05:15)	... +M010 +M011 +M012 +M013 \geq 9
05:30)	... +M010 +M011 +M012 +M013 \geq 11
05:45)	... +M010 +M011 +M012 +M013 \geq 11
06:00)	... +M010 +M011 +M012 +M013 \geq 16
06:15)	... +M010 +M011 +M012 +M013 \geq 16
06:30)	... +M010 +M011 +M012 +M013 \geq 18
06:45)	... +M010 +M011 +M012 +M013 \geq 18
	FIN

Fuente: Elaboración propia.

H. Resultados

a) Modelo de programación lineal

Tabla 1. Resumen de resultados del modelo de programación lineal

TURNOS	DIURNO	MIXTO	NOCTURNO	TOTAL
HORARIOS	26	14	27	67
PERSONAL	69	18	71	158
Porcentaje de personal	0.44%	0.11%	0.45%	
Periodos de 15 minutos por turno	28	26	24	
Total de períodos de 15 minutos por horarios	728	364	648	1740
TOTAL de $\frac{1}{4}$ de hora- operadoras asignadas por TURNO	1 932	468	1 704	4 104

El análisis de la asignación de turnos dentro del modelo dado muestra que son 67 turnos versus 96 intervalos de tiempo ($\frac{1}{4}$ de hora), con lo cual tenemos una matriz de 6 432 celdas; sin embargo, sólo hacen interrelación 1 740. Si comparamos la suma de la demanda de las operadoras requeridas por cada $\frac{1}{4}$ de hora durante el día (3 296) contra el total de $\frac{1}{4}$ hora-operadora asignada por turno (4 104), hay una diferencia de 808 $\frac{1}{4}$ de hora-operadora de más. Esto se obtiene de dos maneras: al asignar al personal correspondiente y restarle la demanda, o bien, considerar directamente a la salida del modelo en PL y ver la parte de "SURPLUS" (*surplus*, traducido al español, significa excedente, y se refiere en este caso a las



operadoras telefónicas que están asignadas de manera adicional) y es aquí donde aparecen las asignaciones de más, se suman y se obtiene el valor de 808.

b) Modelo de programación lineal con algoritmos genéticos

Tabla 2. Resumen de resultados obtenidos del modelo PL utilizando algoritmos genéticos

TURNOS	DIURNO	MIXTO	NOCTURNO	TOTAL
HORARIOS	26	14	27	67
PERSONAL	55	27	44	126
Porcentaje de personal	0.44%	0.21%	0.35%	
Periodos de 15 minutos por turno	28	26	24	
Total de periodos de 15 minutos por horarios	728	364	648	1 740
TOTAL de $\frac{1}{4}$ de hora-operadoras asignadas por TURNO	1 540	702	1 056	3 298

El análisis de la asignación de turnos dentro del modelo dado muestra que son 67 turnos versus 96 intervalos de tiempo ($\frac{1}{4}$ de hora), con lo que tenemos una matriz de 6 432 celdas; sin embargo, sólo hacen interrelación 1 740. Si comparamos la suma de la demanda de las operadoras requeridas por cada $\frac{1}{4}$ de hora durante el día (3 296) contra el total de $\frac{1}{4}$ de hora-operadora asignada por turno (3 298), hay una diferencia de 2 unidades de $\frac{1}{4}$ de hora-operadora de más. Esto lo obtenemos de dos maneras: al asignar al personal correspondiente y restarle la demanda, o bien, irnos directamente a la salida del modelo en PL y ver la parte de "SURPLUS", y aquí aparecen las asignaciones de más, las sumamos y nos da el valor de 2.

I. Implementación y uso del modelo

Modelo de programación lineal

Con la utilización del modelo se obtuvo el resultado óptimo de los valores introducidos, es decir, con los horarios introducidos se obtuvo un SURPLUS de 808 de $\frac{1}{4}$ de horas adicionales. Esto significa que se está pagando de más. Al obtener el porcentaje de 808 de $\frac{1}{4}$ de hora de más con respecto a los 3 296 de $\frac{1}{4}$ de horas necesarias obtenemos 25%; es decir, con esta solución se está desaprovechando la cuarta

parte del total del personal, por lo que es necesario realizar un cambio de estrategia.

Esta es una de las 10^{153} posibilidades de combinaciones que pueden hacerse, es obvio que no es posible evaluar cada una de las combinaciones, por lo que resulta necesario utilizar una herramienta que use la meta heurística, como lo hacen los algoritmos genéticos, para dar una respuesta más adecuada.

CONCLUSIONES

Se logró dar una solución adecuada al problema de asignación de horarios de trabajo tomando un subconjunto de los horarios de trabajo como entrada al modelo de programación lineal. Cabe señalar que esta solución proporcionada está en función de las entradas suministradas al modelo.

Se validó el modelo del problema de asignación de horarios primeramente en cuanto a su funcionamiento: se verificó que cada turno cubra exactamente su horario correspondiente; es decir, la cobertura de períodos que contempla el turno diurno sólo cubre 28 intervalos de $\frac{1}{4}$ de hora, el turno nocturno cubre 24 intervalos de $\frac{1}{4}$ de hora y el turno mixto cubre 26 intervalos de $\frac{1}{4}$ de hora. Para validar el resultado hay que basarse en el modelo funcional: cada $\frac{1}{4}$ de hora que hay en el día habrá que compararlo contra los turnos que salieron resultantes y asignarles a cada $\frac{1}{4}$ de hora la cantidad de operadoras resultantes. La suma de cada cuarto de hora debe ser igual o superior a la requerida que se obtuvo a través de la serie de tiempo.

El número de operadoras se asigna a cada periodo con base en la cobertura de períodos que contempla el turno. Como puede observarse, la suma por periodo iguala o supera a lo requerido por cada periodo. Por lo que es posible validar que el modelo PL sí está funcionando adecuadamente, además de que se está corriendo con un software comercial probado y validado en la industria.

De acuerdo con los resultados estadísticos obtenidos mediante el modelo de PL, se encontró evidencia cuantitativa que apoya el planteamiento de la hipótesis que originalmente se planteó.



Por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada y se concluye que para el caso práctico del centro de atención de llamadas, dado que al momento de comparar los modelos de PL, el tradicional *versus* el modelo funcional, se aprecia que hay un adecuado *ajuste en la curva de la demanda*.

Se recomienda enfáticamente que se revise el *modelo de PL* con los expertos de esa información, para que se determine el flujo de la información y la ponderación de los elementos a introducir. En el presente trabajo se consultaron a expertos en el área de tráfico, para que ellos validaran que la información y los resultados fueran los adecuados.

Este proyecto contó con una información histórica, misma que permitió utilizar como insumo la experiencia anterior. Asimismo, tomó la estacionalidad de los datos suministrados para que pudiera obtenerse el pronóstico de eventos futuros, en este caso la demanda del volumen de trabajo de las operadoras telefónicas.

Para darle solución a la asignación de personal primero hay que predecir la demanda de atención telefónica. Esto se logra con la herramienta estadística de series de tiempo, después la demanda se incorpora al modelo de programación lineal, y para solventar las limitaciones del modelo de PL se incorpora la meta heurística a través de los algoritmos genéticos. De esta manera los modelos matemáticos y el AG nos permiten obtener una adecuada asignación de personal a los diversos horarios de trabajo que se presentan en un centro de atención telefónica.

En esta investigación se soluciona un problema de asignación de horarios de trabajo, cuyo rango es de 50003000 posibles alternativas y donde se obtuvo una solución óptima de 99.94% de eficiencia. Sin embargo, esta no es la aportación de la presente investigación, ya que ésta es una instancia del problema y al cambiar los parámetros ya no tendríamos esa eficiencia. La aportación fundamental de este trabajo es cómo enfrentar la explosión combinatoria que presentan los problemas ETP, es decir, la asignación de horarios de trabajo en un centro de atención telefónica, en donde al combinar los métodos heurísticos para segmentar las posibles combinaciones a un modelo matemático dan como resultado una solución adecuada.

REFERENCIAS

- Bellanti, F., Carello, G., Della Croce, F. & Tadei, R. (2004). A greedy-based neighborhood search approach to a nurse rostering problem. (Elsevier, Ed.). *European Journal of Operational Research*, 153(1), 28-40.
- Coss Bu, R. (1993). *Análisis y evaluación de proyectos de inversión*. México: Limusa.
- Demassey, S. & Pesant, G. a.-M. (2005). Constraint programming based column generation for employee timetabling. (Springer, Ed.). *Integration of AI and OR techniques in constraint programming for combinatorial optimization problems*, 140-154.
- Fernández, C. & Santos, M. (2003). A non-standard genetic algorithm approach to solve constrained school timetabling problems. En *Computer Aided Systems Theory-EUROCAST 2003* (pp. 26-37). Springer.
- Goldberg, D. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. México: Addison-Wesley.
- Gröbner, M., Wilke, P. & Bütcher, S. (2003). A standard framework for timetabling problems. (Springer, Ed.) *Practice and theory of automated timetabling IV*, 24-38.
- Kaplansky, E., & Meisels, A. (2007). Distributed personnel scheduling – negotiation among scheduling agents. *Annals of Operations Research*, 155(1), 227-255.
- Konstantinos, G. Z. (2014). Pushing the envelope: The role of slot scheduling in optimising the use of scarce airport resources. *10th International Conference of the Practice and Theory of Automated Timetabling* (pp. 35-42). York, Reino Unido: PATAT 2014.
- Levin, R. I. & Rubin, D. S. (2013). *Business Statistics: A First Course*. Estados Unidos: Pearson Education.
- Meisels, A. & Lusternik, N. (1988). Experiments on networks of employee timetabling problems. *Practice and theory of automated timetabling II*, 130-141.



- Meisels, A., Gudes, E. & Solotorevsky, G. (1997). Combining rules and constraints for employee timetabling. *International Journal of Intelligent Systems*, 12(6), 419-439.
- Schmidt, J. W. & Taylor, R. E. (1979). *Análisis y simulación de sistemas industriales*. México: Trillas.
- Yigit, T. (2007). Constraint- Based School Timetabling Using Hybrid Genetic Algorithms. (R. B. Pazienza, Ed.) *AI* IA 2007: Artificial Intelligence and Human-Oriented Computing* (4733), 848-855.

RECURSOS INFORMÁTICOS

APLICACIÓN	SOFTWARE
Para series de tiempo:	SPSS versión 18
Para programación lineal:	<p>LINDO versión 6.1</p> <p>Este software sirve para resolver problemas de programación lineal y se puede descargar de http://www.lindo.com/ página consultada el 4 de febrero de 2015</p> <p>Solver de Excel 2007 es un complemento de Excel y puede habilitarse desde las propiedades de Microsoft Excel</p>
Para representar los horarios de turnos	Microsoft Excel versión 2007
Para realizar los algoritmos genéticos	Lenguaje C, plataforma. BAKLIZ. HP AlphaServer SC 45
Para realizar cálculos con exponentes	Scientific Work Place versión 3.1

