

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 rojeda@unam.mx
Instituto Tecnológico de Monterrey,, México

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 el cual 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 a nivel internacional, donde quien toma la decisión frecuentemente se tendrá que enfrentar 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.

Abstract: It is important that management has the right amount of information and skills to improve the quality of service of staff serving the customer and make a proper decision making, which is the case of telephone operators, telephone company's tools. This research posits that using genetic algorithms a model which provides more efficient than traditional methods of allocation problems working hours telephone operators solution is obtained. You have to make a decision regarding response time, with quality measures at international level and where the decision maker often have to face a lot of information with a large number of variables and a complex relationship between them. Hence the interest of this study: How to model and solve more efficiently a complex problem staffing schedules work in a large company of Mexican call?, in order to incorporate combinations of work schedules telephone and shifts with telephone operators and their breaks and unavailable to meet customer time, which impacts customer satisfaction stations.

Keywords: PL Linear programming, AG Genetic Algorithms, ETP Employee Timetabling Problem.

Introducción

Dado el complejo ambiente competitivo que se establece actualmente dentro del mercado, se hace más evidente la necesidad de incorporar

Raúl Ojeda Villagómez.

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, vol. 44, núm. 115, 2015

Instituto Politécnico Nacional

Recepción: 18 Marzo 2015

Aprobación: 30 Junio 2015

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

nuevos indicadores del desempeño de las organizaciones que no se relacionen directamente con las métricas financieras. Hoy en día se ha vuelto crítica la disposición de información fidedigna en el tiempo justo y en el lugar correcto para la toma de decisiones y evaluación de desempeño de las organizaciones.

Es muy importante que el directivo cuente con la cantidad adecuada de información y de 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 el cual 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 la atención a 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 a nivel internacional y donde quien toma la decisión frecuentemente se tendrá que enfrentar 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 primer regla de conteo de Levin (2013) de $35 = 243$ maneras diferentes de asignar los trabajadores a los turnos.

La situación que realmente va a ser reflejada a lo largo del proyecto es: 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 5000 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 deben a las pausas de trabajo requeridas dentro de la jornada de trabajo, y como existe

una población que excede las 3000 operadoras, se obtiene un total de 50003000 maneras diferentes de asignar los trabajadores a los turnos.

De esta manera, se trabaja con dos conjuntos que tienen grandes volúmenes de información, no se puede segmentar el conjunto de operadoras por diversas situaciones como sindicato, lugar geográfico, situación laboral, entre otros aspectos; pero sí es posible segmentar el conjunto de turnos y emplear los más adecuados con base en la demanda derivada al momento de elegir la combinación de una población de 5000 turnos un subconjunto de 67 turnos, la cantidad de subconjuntos que se forman son más de 10 elevado a la potencia de 153 (10153);

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 el poderlo operar de manera matemática, tal información manifiesta que de sólo listar las posibles combinaciones no 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 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 se establece 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 crítica la disposición de información fidedigna en el tiempo justo y en el lugar correcto para la toma de decisiones y evaluación del desempeño. Es sumamente importante que el directivo cuente con la cantidad adecuada de información y de 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 8 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.

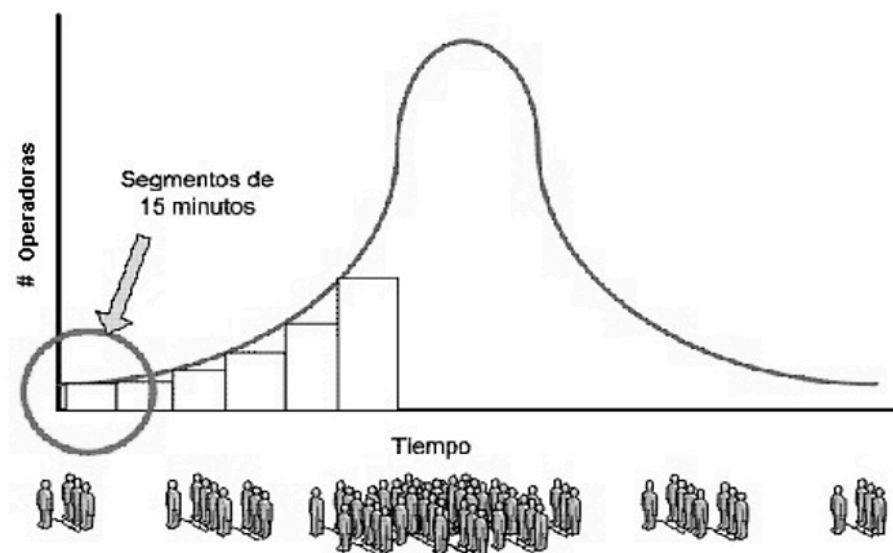
Objetivos e hipótesis de investigación

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, ver gráfica 1, actualmente se tienen 5000 turnos; esta cantidad de turnos es debido a las pausas de trabajo que se requiere 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, por lo que 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.

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 4230 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. Inquietudes 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 (Ej., 040 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 deben 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 se debe tomar una decisión relativa al tiempo de respuesta, ya que la misma es directamente proporcional a las medidas de calidad a nivel 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 cuantas 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, ejemplo las decisiones que se toman para determinar cuántas estaciones de trabajo se deben colocar en base al 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 se debe tomar una decisión de cuantas personas se deben asignar 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 poder resolverlo de la mejor manera, involucrando restricciones duras y suaves.

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

La regulación de las restricciones están intrínsecas, dentro del problema en sí, al tener un horario después de las 20 horas, automáticamente se convierte en un turno nocturno por lo que debe trabajar menos de una hora con respecto al turno diurno, estas restricciones no están enunciadas dentro del problema, pero al contemplar los diversos turnos indirectamente se están contemplando, (Demasse & Pesant, 2005: 10), señala 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), las características que se deben tener en cuenta cuando se enfrenta con un problema de este tipo, es que al tener un gran número de variables, como podemos determinar que la solución que presentamos es la adecuada, al trabajar con modelos heurísticos, es difícil determinar cuál es una solución adecuada.

Los problemas ETP pueden ser resueltos en dos fases según Demasse y Pesant (2005: 7); la primer fase es diseñar los posibles horarios según las restricciones que regulan, la segunda fase es considerando el criterio de optimización 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 y esto vuelve aun más complejo el manejo del problema, estos diversos descansos algunos autores lo manejan como ranuras del tiempo (vid. Konstantinos, 2014).

Se aclara 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 de Call Center, se tendría como desventaja que un ligero cambio de la especificación del problema frecuentemente causa un completo rediseño de la estructura de datos y algoritmos, como lo menciona Gröbner (2003: 24).

La manera como se han 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), y 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 se presenta en la vida real es que las operadoras aunque tienen la obligación de trabajar, por ciertas causas no se presentan o bien le cambian el turno a otra trabajadora, para ver otros aspectos que influyen (vid. Meisels 2007).

Yigit (2007), menciona las restricciones típicas duras y las restricciones típicas blandas, la primera restricción que menciona es “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 toman a las operadoras como indistinguibles ya que como hay más de tres mil operadoras se volvería inmanejable 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 a nuestro caso tenemos que las operadoras no deben tener muchos espacios o descansos entre sus horarios de trabajo en un mismo día, sin embargo esto ya está considerado por la empresa y sindicato teniendo que tener horarios mixtos, es decir no es turno diurno ni tampoco turno nocturno, por lo que en el mismo turno ya está contemplada la restricción trabajando media hora menos que el turno diurno y sin salir tan noche o de madrugada como el turno nocturno.

Se presentan varios problemas en la literatura internacional como el hospital italiano (Bellanti, Carello, Della Croce, & Tadei, 2004), call center's para describir los problemas ETP, sin embargo lo interesante es cómo manejar el gran número de alternativas que se pueden incorporar 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 la cantidad de operadoras telefónicas en determinada duración de la jornada laboral, quienes 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 sobre las necesidades de la demanda requerida del cliente.

Una vez determinada la demanda por cada $\frac{1}{4}$ de hora en el día, se determina que la función objetivo a optimizar para el modelo de programación lineal es:

Minimizar

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

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, indicando: la suma del número de operadoras presentes, ubicadas en los turnos que abarca cada $\frac{1}{4}$ de hora, debe ser mayor o igual a la demanda de operadoras requeridas para cada $\frac{1}{4}$ de hora, por cada intervalo de tiempo.

· Cada turno pueden estar asignadas varias operadoras o ninguna (0 a n).

Características del Centro de Atención Telefónica

Con objeto de validar los modelos propuestos, en un problema como el centro de atención telefónica más grande del país, se utiliza el centro de atención de Guadalajara como objeto de estudio que permita manejar las alternativas con PL, se cuenta con 181 operadoras de tráfico, se utilizan todos los turnos disponibles a nivel nacional que son 5000, pero para fines prácticos, los expertos del área de tráfico toman sólo una muestra de 67 turnos, y 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 5000 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 mejor se ajusta 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, hace la optimización de la asignación del personal, por lo que cada herramienta hace lo necesario para obtener una solución.

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 es debido a que se produce una matriz muy grande para poder introducirlo 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 6432 celdas, es decir serían 6432 variables este volumen de variables son manejables 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: 175), propone las siguientes etapas para investigar las propiedades y el comportamiento de un sistema real y siendo esta metodología una de las más completas, se utiliza en el presente trabajo:

- A. Definición del problema
- B. Definición de las variables en el modelo
- C. Formulación del modelo (Modelo adecuado en base a las necesidades del sistema)
- D. Preparación de datos
- E. Translación 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

Problemas de horarios de los empleados ETP (MEISELS & Solotorevsky, 1997), es 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 $X_{m \times r \times p}$, 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 es compuesto por un horario fijo y un número de descansos, que puede ser uno o varios. Un empleado es asignado a un turno y este a su vez tiene asociado un descanso; esto es, cada descanso D_k pertenece a un Horario H_h que a su vez conforman un Turno T_j . Es dada una matriz de enteros no negativos $R_{n \times t}$ 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 solo a un subconjunto de turnos. Estas restricciones son representadas por una matriz binaria de disponibilidad $A_{m \times n}$ donde $A_{ij} = 1$ Si el empleado E_i está disponible para el turno T_j y $A_{ij} = 0$ si no está disponible.

Conflictos: un empleado no puede ser asignado a dos turnos que estén en conflicto, estos conflictos pueden ser solapamiento, consecutivo o combinación, que sea prohibido por las reglas de la organización o del sindicato. Los conflictos pueden variar para diferentes empleados (debido a las diferentes situaciones laborales) y son descritos por una matriz 3-dimensión binaria de conflictos $C_{n \times n \times m}$, así como si $C_{j_1 j_2 i} = 0$, entonces el empleado E_i no puede ser asignado a ambos turnos S_{j_1} y S_{j_2} .

Carga de Trabajo: hay un número diferente de intervalos de tiempo que contiene cada turno, ya que se deben cubrir las 24 horas del día 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 que el sistema contabiliza a las operadoras 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 periodos son por cada 15 minutos, por lo que hay que dividir entre 900 segundos; es decir, entre 9 CSS, si las operadoras trabajaran al 100%, por lo que se considera que trabajan a un 84 % de su capacidad de atención, esto es, el %OCC se considera de un 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

Demanda 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 hrs. y tiene una duración de 8 horas, con una hora de descanso, por lo que quedan 28 intervalos de ¼ 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 hrs. del día siguiente y tiene una duración de 7 horas con una hora de descanso, por lo que quedan 24 intervalos de ¼ de hora laborable.

Turno mixto: comprende de las 05:00 a.m. a las 22:00 hrs. 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 (Modelo adecuado con base a 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 determinar la cantidad de operadoras telefónicas de determinada modalidad, duración de la jornada laboral que deben trabajar en determinado 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 los costos de contratación y desviaciones sobre 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:

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

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^{67} X_{ik} = 1 \\ \text{Sujeta a las siguientes restricciones: } & \sum_{i=1}^{67} C_i X_{ik} \geq \text{Demanda}_k \\ & C_i \geq 0, \quad X_{ik} \geq 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^{67} X_{ik} = 1 \\ & \sum_{i=1}^{67} C_i X_{ik} \geq \text{Demanda}_k \\ & C_i \geq 0, \quad X_{ik} \geq 0 \end{aligned}$$

(para $i=1 \dots 67$ horarios diferentes de trabajo)

(para $k=1 \dots 96$ cuartos de hora del día)

donde:

C_i : cantidad de operadoras telefónicas presentes asignadas al horario " X_i "

X_{ik} : número de horario " X_i " asignado al periodok

Demanda_k : demanda de operadoras telefónicas necesarias para el Periodok

Periodok: periodo de tiempo " k " en intervalos de quince minutos en los que se divide el día.

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

Si el horario X_i cubre el periodo k
en cualquier otro caso.

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.).

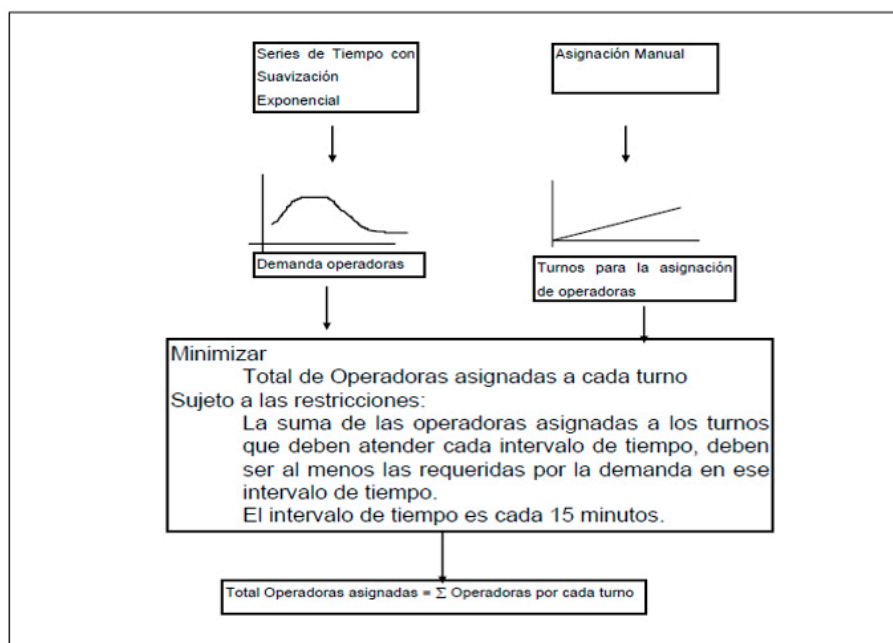


Figura 1:

Modelo de la programación de horarios en pl.

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

D. Preparación de datos (FUNDAMENTOS)

a) Modelo de Programación Lineal

Como se tienen 5 mil 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 se puede introducir 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 periodos abarca, incluyendo sus descansos, este modelo denominará: modelo funcional. Con este modelo se puede identificar por cada turno qué $\frac{1}{4}$ de hora está cubriendo; es decir, el horario de los turnos versus los 96 intervalos de tiempo.

Descripción del modelo en un lenguaje aceptable para la computadora que se usará: el software de programación LINDO versión 6.1

Determinar los criterios de evaluación.

Se deben elegir los turnos que cubran mayormente las necesidades de la empresa; es decir, los turnos que atiendan a más clientes. Esto se dificulta

por que 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 $i=1..26$

N_j = número de operadoras telefónicas que laboran en el turno Nocturno con su respectivo descanso donde $j=1..27$

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

Por lo tanto son un total de 67 variables de los turnos, se muestran como “horarios de turnos para el modelo de programación lineal”, en una tabla con cinco columnas 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, de esta manera, resolverlo bajo estas características dio un resultado de 158 personas; sin embargo, esto se puede representar en términos de PL mostrada a continuación

Minimize				
$Horario_1 + Horario_2 + .. + Horario_{67}$				
Subject to				
Periodo ₁)	horario _{i1}	+	horario _{i2}	... horario _{i67} \geq DemandaOperadora ₁
Periodo ₂)	horario _{i1}	+	horario _{i2}	... horario _{i67} \geq DemandaOperadora ₁
....				
Periodo ₉₆)	horario _{i1}	+	horario _{i2}	... horario _{i67} \geq DemandaOperadora ₉₆

Figura 2:
Modelo programado en PL (LINDO ver. 6.1).
Fuente: Elaboración propia.

H71		=SUMAPRODUCTO(\$G\$3:\$G\$69,H3:H69)																				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
1	TURNOS AS																					
2	TURNOS	Inido	Fin	Desc_Ini	Desc_Fin	Horas	Labradas	07:00	07:15	07:30	07:45	08:00	08:15	08:30	08:45	09:00	09:15	09:30	09:45	10:00	10:15	
3	D001	07:00	14:15	09:00	09:15	07:00	4	1	1	1	1	1	1	1	1							
50	N016	17:00	23:15	16:30	16:45	06:00	1															
51	N017	17:00	23:15	20:15	20:30	06:00	0															
52	N018	17:00	23:15	20:30	20:45	06:00	2															
53	N019	17:00	23:15	21:00	21:15	06:00	3															
54	N020	17:30	23:45	17:00	17:15	06:00	5															
55	N021	17:30	23:45	21:30	21:45	06:00	0															
56	N022	17:30	00:15	21:30	22:15	06:00	3															
57	N023	18:00	00:15	22:00	22:15	06:00	1															
58	N024	18:00	00:45	22:00	22:45	06:00	3															
59	N025	00:00	06:15	23:30	23:45	06:00	2															
60	N026	23:00	06:15	01:30	02:15	06:30	2															
61	N027	23:00	06:15	02:30	03:15	06:30	2															
62	M007	05:00	12:15	07:00	07:45	06:30	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
63	M008	05:00	12:15	07:15	08:00	06:30	2	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	
64	M009	05:30	12:45	07:30	08:15	06:30	2	1	1					1	1	1	1	1	1	1	1	
65	M010	06:00	13:15	08:00	08:45	06:30	2	1	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	
66	M011	06:00	13:15	08:15	09:00	06:30	3	1	1	1	1	1	1				1	1	1	1	1	
67	M012	06:30	13:15	08:30	08:45	06:30	2	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	
68	M013	06:30	13:45	08:30	09:15	06:30	3	1	1	1	1	1	1	1				1	1	1	1	
69	M014	06:30	13:15	08:45	09:00	06:30	3	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	
70	Demanda Requerida							21	19	23	23	27	26	30	27	36	42	58	58	64	64	
71	Demanda Requerida							126	21	19	23	23	27	26	30	27	36	42	58	58	64	64
72	Surplus							0	-0	0	0	-0	0	-0	-0	-0	-0	-0	0	0	-0	-0

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

Interna:

Se debe validar 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 horas y el turno mixto cubre 26 intervalos de $\frac{1}{4}$ de hora, ejemplo si el horario es de 7:00 a 14:00 hrs., el intervalo cubierto para este turno es de 7:00 a 13:45, ya que si se incluyen las 14:00 hrs. 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, ejemplo un error sería tener 29 intervalos de

cuarto 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 periodos del día es de 28.

Externa:

Al momento de comparar los resultados de forma manual (elaborarlo llevó 40 personas durante 3 semanas) contra el modelo de PL con las mismas restricciones (ejecutarlo llevó menos de 5 minutos) se muestra que el modelo de PL da el mismo resultado de 158 personas.

Para validarlo es preciso basarse en el modelo funcional, Por cada $\frac{1}{4}$ de hora que hay en el día compararlo contra los horarios 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, para esquematizar esta parte se realizó una matriz en una hoja de cálculo por cada fila se asigna los turnos que se requieren y en las columnas los 96 periodos del día, a cada periodo en base al turno se le asignan las operadoras contempladas en su turno, como se puede deducir, la suma por periodo debe igualar o superar a lo requerido por cada periodo.

Por lo que es factible validar que el modelo PL si está funcionando adecuadamente y, además, en un tiempo más cortó se obtiene el mismo resultado, además que se está corriendo con un software comercial probado y validado en la industria.

G. Experimentación

a) Modelo de programación lineal

Salida del programa para generar los datos deseados y efectuar el análisis de sensibilidad,, por razones de espacio no se muestra completa la codificación de la PL.

MINIMIZE													
	D001	+D002	+D003	+D004	+D005	+D006	...	+M010	+M011	+M012	+M013	+M014	
SUBJECT TO													
07:00)		+D002	+D003	+D004	+D005	+D006	...	+M010	+M011	+M012	+M013	+M014	>= 21
07:15)		+D002	+D003	+D004	+D005	+D006	...	+M010	+M011	+M012	+M013	+M014	>= 19
07:30)		+D002	+D003	+D004	+D005	+D006	...	+M010		+M012	+M013	+M014	>= 23
07:45)		+D002	+D003	+D004	+D005	+D006	...	+M010		+M012	+M013	+M014	>= 23
08:00)	+D001	+D002	+D003	+D004	+D005	+D006	...	+M010		+M012	+M013	+M014	>= 27
08:15)	+D001	+D002	+D003	+D004	+D005	+D006	...	+M010		+M012	+M013	+M014	>= 26
08:30)	+D001	+D002	+D003	+D004	+D005	+D006	...	+M010	+M011	+M012	+M013	+M014	>= 30
08:45)	+D001	+D002	+D003	+D004	+D005	+D006	...	+M010	+M011	+M012	+M013	+M014	>= 27
09:00)	+D001	+D002		+D004	+D005	+D006	...		+M011	+M012	+M013	+M014	>= 36
09:15)	+D001	+D002			+D005	+D006	...		+M011		+M013	+M014	>= 42
...													
05:00)							...	+M010	+M011	+M012	+M013		>= 9
05:15)							...	+M010	+M011	+M012	+M013		>= 9
05:30)							...	+M010	+M011	+M012	+M013		>= 11
05:45)							...	+M010	+M011	+M012	+M013		>= 11
06:00)							...	+M010	+M011	+M012	+M013		>= 16
06:15)							...	+M010	+M011	+M012	+M013		>= 16
06:30)							...	+M010	+M011	+M012	+M013		>= 18
06:45)							...	+M010	+M011	+M012	+M013		>= 18
END													

Figura 5:

Modelo PL para la asignación de horarios de trabajo para 67 turnos

Fuente: Elaboración propia.

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

Ejemplo, la restricción de las 7:00) la cubren los turnos D002 al D015, ya que el inicio de turno los empiezan a las 7:00 a.m.; para esta restricción no hay ningún turno de noche y los turnos mixtos que lo cubren empiezan a laborar previo de las 7:00 a.m. son M001, M002 y del M004 al M014; además, deben ser al menos 21 operadoras telefónicas por eso tiene el signo " \geq "

H. RESULTADOS

a) Modelo de Programación Lineal

Resumen Resultados Obtenidos

Tabla 1:
Resultados del Modelo de Programación Lineal.

TORNOS	DIURNO		MIXTO	NOCTURNO	TOTAL
HORARIOS	26		14	27	67
PERSONAL	69		18	71	158
Personal Porcentaje	0.44%		0.11%	0.45%	
Periodos de 15 Min., por turno	28		26	24	
Total Periodos de 15 Min., por horarios	728		364	648	1740
TOTAL de ¼ Hora_Operadoras Asignada por TURNO	1932		468	1704	4104

Análisis de la asignación de turnos dentro del modelo dado que son 67 turnos versus 96 intervalos de tiempo ($\frac{1}{4}$ horas) tenemos una matriz de 6432 celdas; no obstante, sólo hacen interrelación 1740. Si comparamos la suma de la demanda de las operadoras requeridas por $\frac{1}{4}$ de hora durante el día (3296) contra el total de $\frac{1}{4}$ Hora_Operadora asignada por turno (4104), hay una diferencia de 808 $\frac{1}{4}$ 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 es excedente y se refiere en este caso a los operadores telefónicos que están asignadas de manera adicional) y aquí aparecen las asignaciones de más, se suman y se obtiene el valor de 808.

b) Modelo de Programación Lineal con Algoritmos Genéticos
Resumen Resultados Obtenidos

Tabla 2:
Resultados obtenido del Modelo PL utilizando Algoritmos Genéticos.

TURNOS	DIURNO	MIXTO	NOCTURNO	TOTAL
HORARIOS	26	14	27	67
PERSONAL	55	27	44	126
Personal Porcentaje	0.44%	0.21%	0.35%	
Periodos de 15 Min., por turno	28	26	24	
Total Periodos de 15 Min., por horarios	728	364	648	1740
TOTAL de ¼ Hora_Operadoras Asignada por TURNO	1540	702	1056	3298

Análisis de la asignación de turnos dentro del modelo dado que son 67 turnos versus 96 intervalos de tiempo ($\frac{1}{4}$ horas) tenemos una matriz de 6432 celdas, sin embargo sólo hacen interrelación 1740. Si comparamos la suma de la demanda de las operadoras requeridas por $\frac{1}{4}$ de hora durante el día (3296) contra el total de $\frac{1}{4}$ Hora_Operadora asignada por turno (3298), hay una diferencia de 2 unidades de $\frac{1}{4}$ 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. Implantación y uso del modelo Modelo de Programación Lineal

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, por lo que esto es lo que se está pagando demás, al obtener el porcentaje de 808 de $\frac{1}{4}$ de hora de más con respecto a los 3296 de $\frac{1}{4}$ de horas necesarias obtenemos un 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 10153 posibilidades de combinaciones que se pueden hacer, es obvio que no se puede evaluar cada una de las posibles combinaciones, por lo que es necesario utilizar una herramienta que utilice 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 periodos 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 horas y el turno mixto cubre 26 intervalos de $\frac{1}{4}$ de hora. Para validar el resultado hay que basarse en el modelo funcional, por cada $\frac{1}{4}$ de hora que hay en el día 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 asignan a cada periodo con base en la cobertura de periodos que contempla el turno, como se puede observar 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 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 y toma la estacionalidad de los datos suministrados para que se pueda obtener 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 a pesar de que se soluciona un problema de asignación de horarios de trabajo que cuyo rango es de 50003000 posibles alternativas y donde se obtuvo una solución óptima del 99.94% de eficiencia, ésta 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 como enfrentar la explosión combinatoria que presentan los problemas ETP, 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*. D.F., México: Limusa.
- Demasse, 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* (págs. 26-37). Springer.
- Goldberg, D. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. D.F., México: Addison-Wesley.
- Gröbner, M., Wilke, P., & Büttcher, 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 (págs. 35-42). York, United Kingdom: 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 IIe* , 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*. D.F. México: Trillas.

Yigit, T. (2007). Constraint- Based School Timetabling Using Hybrid Genetic Algorithms. (R. B. Paziienza, Ed.) AI* IA 2007: Artificial Intelligence and Human-Oriented Computing (4733), 848-855.

Información adicional

Clasificación JEL:: C61