

Programación lineal para la asignación de personal a horarios de trabajo: El caso de una empresa de atención telefónica en México

Área de investigación: Administración de la tecnología

Raúl Ojeda Villagómez

Facultad de Contaduría y Administración
Universidad Nacional Autónoma de México
México
rojeda@unam.mx



Octubre 3, 4 y 5 de 2012
Ciudad Universitaria
México, D.F.

XV CONGRESO INTERNACIONAL DE CONTADURÍA ADMINISTRACIÓN E INFORMÁTICA

Diseno: FEA, Maritza Alvarez Pineda, Mariana Fotoyodis, Raul Lopez Chavez

<http://congreso.investiga.fca.unam.mx>

informacongreso@fca.unam.mx

Teléfonos

52 (55) 5622.84.90

52 (55) 5622.84.80

Fax

52 (55) 5616.03.08



ANFECA
Asociación Nacional de Facultades y
Escuelas de Contaduría y Administración

División de Investigación, Facultad de Contaduría y Administración, UNAM
Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, México, D.F., C.P. 04510

Programación lineal para la asignación de personal a horarios de trabajo: El caso de una empresa de atención telefónica en 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, 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 y dónde 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 disponibles para atender un cliente, lo cual incide en la satisfacción del cliente.

Palabras clave: Programación lineal, Algoritmos genéticos, Timetabling



Octubre 3, 4 y 5 de 2012
Ciudad Universitaria
México, D.F.

<http://congreso.investiga.fca.unam.mx>
informacongreso@fca.unam.mx

Teléfonos

52 (55) 5622.84.90
52 (55) 5622.84.80

Fax 52 (55) 5616.03.08



ANFECA
Asociación Nacional de Facultades y
Escuelas de Contaduría y Administración

División de Investigación, Facultad de Contaduría y Administración, UNAM
Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, México, D.F., C.P. 04510

I. INTRODUCCIÓN

Dado el complejo ambiente competitivo que se establece actualmente 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 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 sumamente 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 un modelo de programación lineal se proporciona una solución eficiente 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. 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 disponibles para atender 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 de $3^5 = 243$ 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 turnos¹; 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 5000^{3000} maneras diferentes de asignar los trabajadores a los turnos. Así, 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

<http://congreso.investigacion.unam.mx>

informacion@ca.unam.mx

Teléfono: 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

52 (55) 5622.84.90

52 (55) 5622.84.80

Fax: 52 (55) 5616.03.08

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 (10^{153}); es decir, 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, por lo que 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.

1. 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 los autores, 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. Por consiguiente, el presente trabajo postula que *mediante un modelo de programación lineal se proporciona una solución eficiente a problemas de asignación de horarios de trabajo de las operadoras telefónicas*. 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.

2. 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 disponibles 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.

3. OBJETIVOS

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.

4. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

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; 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:

Un Modelo de Programación Lineal da pauta a resolver eficientemente el complejo problema de asignación de personal a horarios de trabajo en la empresa telefónica aludida con anterioridad.

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.

<http://congreso.investiga.fca.unam.mx>

informacongreso@fca.unam.mx

Teléfonos

52 (55) 5622.84.90

52 (55) 5622.84.80

Fax

52 (55) 5616.03.08



División de Investigación, Facultad de Contaduría y Administración, UNAM
Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, México, D.F., C.P. 04510

5. METODOLOGÍA

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 tele operación 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.

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).

D. Características del Centro de Atención Telefónica

Octubre 3, 4 y 5 de 2012

Ciudad Universitaria,
México, D.F.

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: una muestra de 67 turnos de un total de 5000 arroja:

<http://congreso.investigacion.unam.mx>

informacongreso@fca.unam.mx

Teléfonos

52 (55) 5622.84.90

52 (55) 5622.84.80

Fax

52 (55) 5616.03.08



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

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:

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

Por lo que los Algoritmos Genéticos (AG)² resuelven 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 arroja 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 ajustan 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 adecuado para lo que fue diseñado en obtener una solución adecuada.

El modelo de PL, que va a contener las agrupaciones de turnos y 96 restricciones por cada ¼ de hora que hay en el día, cada restricción debe ser igual o mayor a la demanda que se genere 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

² Este principio de 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 Algoritmos Genéticos consulte a GOLDBERG, 1989, primer capítulo.

52 (55) 5622.84.90

52 (55) 5622.84.80

Fax 52 (55) 5616.03.08

de 6432 celdas, con este volumen de variables todavía son manejables en los paquetes comerciales que hay en el mercado como lo es LINDO³.

La metodología a seguir elaborada por Schmidt⁴ 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 aprovecha en el presente trabajo:

- A. Definición del problema
- B. Definición de las variables en el modelo
- C. Formulación del modelo⁵
- 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.

II. METODOLOGÍA PARA LA ASIGNACIÓN DE HORARIOS DE TRABAJO

Como se señala en el marco teórico, Schmidt⁶ 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 emplea en el presente trabajo:

A. Definición del problema

Problemas de horarios de los empleados (Employee Timetabling Problems ETP)⁷, 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:

³ Este software sirve para resolver problemas de programación lineal y se puede descargar de <http://www.lindo.com/> página consultada el 4 de abril del 2012

⁴ Schmidt, J. W. & Taylor, R. E. "Análisis y Simulación de Sistemas Industriales" p. 175

⁵ Modelo adecuado en base a las necesidades del sistema

⁶ op cit p. 175

⁷ Meisels, Amnon y Andrea Schaerf "Modeling and Solving Employee Timetabling Problems"

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.

IDL-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.



Octubre 3, 4 y 5 de 2012
Ciudad Universitaria
México, D.F.

<http://congreso.investigacion.unam.mx>
informacongreso@fca.unam.mx

Teléfonos

52 (55) 5622.84.90
52 (55) 5622.84.80

Fax 52 (55) 5616.03.08

División de Investigación, Facultad de Contaduría y Administración, UNAM
Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, México, D.F., C.P. 04510


Asociación Nacional de Facultades y
Escuelas de Contaduría y Administración

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 atención⁸, esto es, el %OCC se considera de un 16 %.

La fórmula para obtener el número de operadoras para atender el servicio está dada por: $WV_CSS / (9 * 0.84)$



Octubre 3, 4 y 5 de 2011
Ciudad Universitaria
México, D.F.

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 horas⁹, con una hora de descanso, por lo que quedan 28 intervalos de ¼ de hora laborable.

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 ¼ de hora laborable.

C. Formulación del modelo¹⁰

Modelo de Programación de horarios

Para elaborar un programa de horarios que satisfaga las necesidades de operadoras, por ¼ hora, su formulará un modelo de programación lineal entera (PL).

Este modelo busca determinar la cantidad de operadoras telefónicas de determinada modalidad¹¹ que deben trabajar en determinado horario y tomar su pausa de

⁸ Este 84% de ocupación de los operadores telefónicos es un convenio entre empresa y sindicato y está reflejado en el contrato colectivo de trabajo.

⁹ Cláusula 77 del contrato Colectivo de Trabajo de Teléfonos de México.

¹⁰ Modelo adecuado en base a las necesidades del sistema

descanso. Además, tienen como restricciones las necesidades de operadoras por ¼ 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:

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

Sujeta a las siguientes restricciones:

$$\sum_{i=1}^{67} X_{ik} = 1$$

(para i=1 .. 67 horarios diferentes de trabajo)

$$\sum_{i=1}^{96} C_i X_{ik} \geq Demanda_k$$

(para k=1 .. 96 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 $_k$

$Demanda_k$: 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.

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

Octubre 3, 4 y 5 de 2012
Ciudad Universitaria
México, D.F.

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 modelo¹².

¹¹ Duración de la Jornada Laboral

¹² COSS BU, Raúl; Análisis y evaluación de proyectos de inversión Editorial Limusa, pp. 375

Teléfonos

52 (55) 5622.84.90

52 (55) 5622.84.80

Fax

52 (55) 5616.03.08

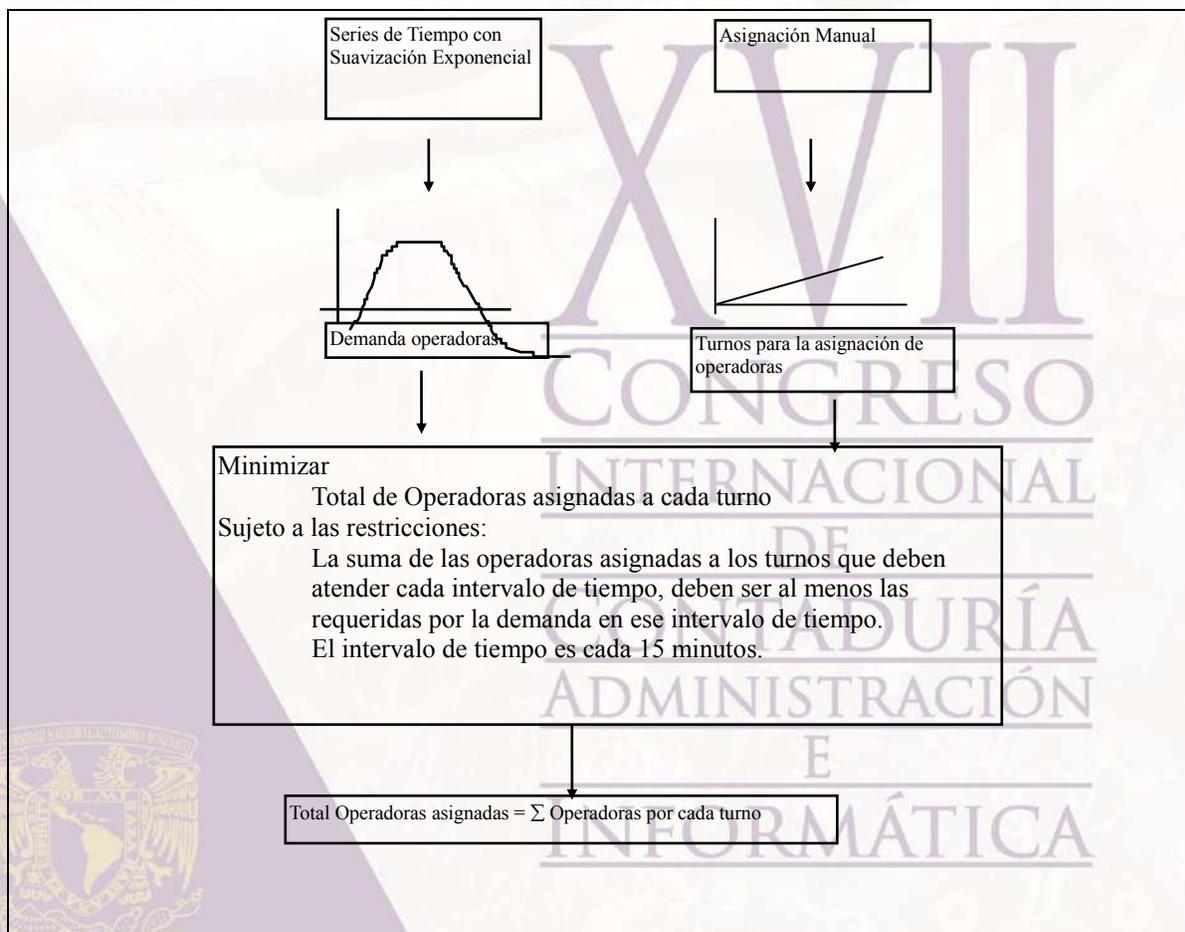


Figura 1: MODELO DE LA PROGRAMACIÓN DE HORARIOS EN PL

Octubre 3, 4 y 5 de 2012
 Ciudad Universitaria
 México, D.F.

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** (se listan en el anexo D de la versión completa del estudio). 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.

<http://congreso.informacongreso.com>
 Teléfonos

52 (55) 5622.84.90
 52 (55) 5622.84.80

Fax 52 (55) 5616.03.08

Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Contaduría y Administración

División de Investigación, Facultad de Contaduría y Administración, UNAM
 Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, México, D.F., C.P. 04510

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 (se listan en el anexo B de la versión completa del estudio) 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 (en versión completa del estudio se anexa **Gráfica de Turnos Sala Guadalajara**), 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:

Modelo programado en PL (LINDO ver. 6.1):

Minimize
Horario ₁ + Horario ₂ + .. + Horario ₆₇
Subject to
Periodo ₁) horario _{i1} + horario _{i2} ... horario _{i67} >= DemandaOperadora ₁
Periodo ₂) horario _{i1} + horario _{i2} ... horario _{i67} >= DemandaOperadora ₁
....
Periodo ₉₆) horario _{i1} + horario _{i2} ... horario _{i67} >= DemandaOperadora ₉₆

F. Validación del modelo

Interna:

<http://congreso.informacongreso.org> Se debe validar que cada horario cubra exactamente su periodo correspondiente; es decir, el turno diurno sólo cubre 28 intervalos de ¼ de hora, el turno nocturno

Teléfonos

52 (55) 5622.84.90

52 (55) 5622.84.80

Fax

52 (55) 5616.03.08

Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Contaduría y Administración

División de Investigación, Facultad de Contaduría y Administración, UNAM
Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, México, D.F., C.P. 04510

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

Figura 2 MODELO PL PARA LA ASIGNACIÓN DE HORARIOS DE TRABAJO PARA 67 TURNOS

Donde hay 96 restricciones por cada ¼ de hora que hay durante el día, cada restricción contiene qué turnos abarca este ¼ de hora y señala cuántas operadoras deben estar cubriendo este ¼ 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 “>=“.



H. RESULTADOS

a) Modelo de Programación Lineal

Resumen Resultados Obtenidos

TURNOS	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

Tabla 1: Resultados del Modelo de Programación Lineal

Análisis de la asignación de turnos dentro del modelo dado que son 67 turnos versus 96 intervalos de tiempo (¼ 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 ¼ de hora durante el día (3296) contra el total de ¼ Hora-Operadora asignada por turno (4104), hay una diferencia de 808 ¼ 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 “SURPLUS¹⁴”, y aquí aparecen las asignaciones de más, se suman y se obtiene el valor de 808.

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 ¼ de horas adicionales, por lo que esto es lo que se está pagando demás, al obtener el porcentaje de 808 de ¼ de hora de más con respecto a los 3296 de ¼ 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

<http://congreso.investigacion.unam.mx>

información¹⁴ Surplus traducido al español es excedente y se refiere en este caso a los operadores telefónicos que están asignadas de manera adicional.

52 (55) 5622.84.90

52 (55) 5622.84.80

Fax 52 (55) 5616.03.08

División de Investigación, Facultad de Contaduría y Administración, UNAM
Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, México, D.F., C.P. 04510

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, para esquematizar esta parte se muestra en el anexo D de la versión completa del estudio una matriz en una hoja de cálculo, por cada fila se asignan los turnos que se requieren y en las columnas los 96 periodos del día. 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:

Un Modelo de Programación Lineal da pauta a resolver eficientemente el complejo problema de asignación de personal a horarios de trabajo en la empresa telefónica aludida con anterioridad.

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 modelo 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.

52 (55) 5622.84.90

52 (55) 5622.84.80

Fax 52 (55) 5616.03.08

BIBLIOGRAFÍA

- ABRAMSON, D.; J. Abela. 1992. "A Parallel Genetic Algorithm for Solving the School Timetabling Problem", Mathematics and Computer Science. St, Carlton, Australia, 1 Feb 1992.
- AL-YAKOOB, Salem M. and Hanif D. Sherali "Mathematical programming models and algorithms for a class-faculty assignment problem" European Journal of Operational Reserch 173 p. 488-507; www.sciencedirect.com Department of Mathematics and Computer Science, College of Science, Kuwait University, Kuwait 2006.
- COSS BU, Raúl. 1993. Análisis y evaluación de proyectos de inversión. Editorial Limusa, D.F., México
- GOLDBERG, David. 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Addison-Wesley, D.F., México
- KAPLANSKY, Eliezer; MEISELS, Amnon. 2007. "Distributed personnel scheduling – negotiation among scheduling agents" Dept. of mathematics and computer science, University of the Negev, Israel. [site:citeseer.ist.psu.edu](http://site.citeseer.ist.psu.edu). (consulta realizada el 7 de febrero del 2012).
- MEISELS, Amnon; Ehud Gudes y Gadi Solotorevsky. 1997. "Combining Rules and constraints for employee Timetabling" computer science, University of the Negev, Israel. 1997 [site:citeseer.ist.psu.edu](http://site.citeseer.ist.psu.edu). (consulta realizada el 15 de agosto del 2008).
- MEISELS, Amnon; y Lusternik, Natalia. 1988. "Experiments on Networks of Employee Timetabling Problems" computer science, University of the Negev, Israel. site: www.webofscience.com, (consulta realizada el 18 de Julio del 2008).
- RHEAULT, Jean Paul. 1980. Introducción a la teoría de decisiones con aplicaciones a la Administración, Limusa , D.F. México
- SCHMIDT, J. W. & Taylor, R. E. 1979, Análisis y Simulación de Sistemas Industriales Trillas. D.F. México
- YIGIT, Tuncay "Constraint- Based School Timetabling Using Hybrid Genetic Algorithms", R. Basili and M.T. Paziienza (Eds.): 2007, LNAI 4733, pp. 848-855, Springer – Verlag Berlin Heidelberg, Suleyman Demirel University, Engineering and Architecture Faculty, Computer Engineering, Cunur, Isparta, Turkey 2007.

<http://congreso.investiga.fca.unam.mx>

informacongreso@fca.unam.mx

Teléfonos

52 (55) 5622.84.90

52 (55) 5622.84.80

Fax

52 (55) 5616.03.08



División de Investigación. Facultad de Contaduría y Administración, UNAM
Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, México, D.F., C.P. 04510

RECURSOS INFORMÁTICOS

APLICACIÓN	SOFTWARE
Para series de Tiempo:	SPSS ver. 18
Para Programación Lineal:	LINDO ver. 6.1 www.lindo.com página consultada el 4 de abril del 2012
Para representar los horarios de turnos:	Microsoft Excel versión 2003
Para realizar los algoritmos genéticos:	Lenguaje C, plataforma. BAKLIZ . HP AlphaServer SC 45
Para realizar cálculos con exponentes:	Scientific Work Place ver. 3.1



Octubre 3, 4 y 5 de 2012
Ciudad Universitaria
México, D.F.

CONGRESO INTERNACIONAL DE CONTADURÍA ADMINISTRACIÓN E INFORMÁTICA

Diverso FEA, Baktiz, Análisis, Pricsoft, Murgueta | Fotografía: Raulo Lopez-Chavez

<http://congreso.investiga.fca.unam.mx>

informacongreso@fca.unam.mx

Teléfonos

52 (55) 5622.84.90

52 (55) 5622.84.80

Fax

52 (55) 5616.03.08



ANFECA
Asociación Nacional de Facultades y
Escuelas de Contaduría y Administración

División de Investigación, Facultad de Contaduría y Administración, UNAM
Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, México, D.F., C.P. 04510