



Revista Escuela de Administración de  
Negocios

ISSN: 0120-8160

investigaciones@ean.edu.co

Universidad EAN  
Colombia

Arévalo Roberto, Gabriel Yesid

Propuesta metodológica para incrementar la competitividad en los centros de contacto y solución  
telefónicos de empresas del sector de las telecomunicaciones a través del desarrollo del proceso

Workforce Management

Revista Escuela de Administración de Negocios, núm. 76, enero-junio, 2014, pp. 92-126

Universidad EAN

Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=20631321006>

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

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Propuesta metodológica para incrementar la competitividad en los centros de contacto y solución telefónicos de empresas del sector de las telecomunicaciones a través del desarrollo del proceso *Workforce Management*

FECHA DE RECEPCIÓN: 11 de enero  
FECHA DE APROBACIÓN: 20 de marzo  
Pp. 92-127

Gabriel Yesid Arévalo Roberto\*

*A methodological proposal to increase competitiveness in contact centers and telephone companies' solutions from the telecommunications sector through the development of the workforce management process*

*Proposition méthodologique visant l'amélioration de la compétitivité des centrales d'appel des entreprises du secteur des télécommunications par la mise en place d'un processus de gestion efficient*

*Proposta metodológica para acrescentar a competitividade nos centros telefônicos de contato e solução em empresas do setor das telecomunicações através do desenvolvimento do processo workforce management*



\*Maestría en Ingeniería Industrial, Universidad Distrital Francisco José de Caldas;  
Especialización en Psicología del Consumidor, Fundación Universitaria Konrad Lorenz;  
Ingeniero Industrial Escuela Colombiana de Carreras Industriales.

## RESUMEN

*Este artículo pretende brindar una metodología que integre el sentido práctico del día a día de un centro de contacto y solución telefónico con herramientas estadísticas y matemáticas que permiten optimizar el uso de los recursos, incrementar la competitividad de la empresa y finalmente mejorar la experiencia del cliente. Se presenta la metodología propuesta sustentada en una exhaustiva revisión bibliográfica y con base en conocimiento estadístico (modelos bajo incertidumbre) y matemático (procesos estocásticos y optimización), dos ciencias que contribuyen a explicar el comportamiento de ciertos fenómenos en los cuales la incertidumbre y la necesidad de optimización están presentes. Finalmente se realiza una revisión de los resultados bajo la metodología propuesta y se efectúa una comparación con los resultados obtenidos utilizando otras 3 metodologías.*

## ABSTRACT

*This paper aims at providing a methodology which integrates the practicality of ordinary contact center operation and telephone solutions applying statistical and mathematical tools that optimize the use of resources, enhancing organizational competitiveness and customer service experience. This analysis shows a methodological proposal supported by a comprehensive literary review and based on statistical knowledge (uncertainty models) and mathematical knowledge (stochastic processes and optimization), two sciences which explain the behavior of specific phenomena based on uncertainty and optimization needs. Finally, a review of the results is carried out using the proposed methodology, and a comparison of results have been made applying 3 other methodologies.*

## RESUMÉ

*Ce document a pour but de fournir une méthodologie intégrant la pratique quotidienne des centrales d'appel grâce à des outils statistiques et mathématiques permettant d'optimiser l'utilisation des ressources, d'améliorer la compétitivité de l'entreprise ainsi que l'expérience du client. La méthodologie proposée se base sur un examen exhaustif de la littérature scientifique ainsi que sur la connaissance statistique (modèles d'incertitude) et mathématique (optimisation et processus stochastiques). Ces deux sciences visent à expliquer le comportement de certains phénomènes dans lesquels l'incertitude et la nécessité d'optimisation sont largement présentes. Enfin, seront effectués une analyse des résultats selon la méthodologie proposée ainsi qu'une comparaison des résultats obtenus à l'aide de 3 autres méthodologies.*

## RESUMO

*Este documento pretende oferecer uma metodologia que integre o sentido prático do dia-a-dia de um centro telefônico de contato e solução através de ferramentas estatísticas e matemáticas que permitam otimizar o uso dos recursos, aumentar a competitividade da empresa e finalmente melhorar a experiência do cliente. Apresenta-se a metodologia proposta fundamentada em uma exhaustiva revisão bibliográfica e baseada em conhecimento estatístico (modelos com incerteza) e matemático (processos estocásticos e otimização), duas ciências que contribuem a explicar o comportamento de certos fenômenos onde a incerteza e a necessidade de otimização estão presentes. Finalmente revisaram-se os resultados segundo a metodologia proposta e foi feita uma comparação com os resultados obtidos utilizando outras 3 metodologias.*



## Palabras clave

WorkForce  
Forecasting  
Dimensionamiento  
Schedulling  
Rostering  
Series temporales  
Optimización lineal



## Key words

Workforce  
Forecasting  
Sizing  
Scheduling  
Rostering  
Temporal Series  
Linear optimization



## Mots clefs

Main-d'œuvre  
Prévision  
Dimensionnement  
Emploi du temps  
Inscription  
Optimisation linéaire



## Palavras-chave

WorkForce  
Forecasting  
Dimensionamento  
Schedulling  
Rostering  
Séries temporais  
Otimização lineal

# 1. INTRODUCCIÓN

Prácticamente todos los negocios están interesados en proporcionar información y asistencia a los clientes actuales y potenciales (Aksin O. Z., A review of workforce cross-training in call centers from an operations management perspective, 2007). Gracias a las funcionalidades de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), los Centros de Contacto han proliferado por todo el mundo y especialmente en América Latina; entre sus ventajas se encuentra que permiten a las multinacionales deslocalizar determinadas funciones, facilitar la prestación de servicios especializados, incrementar su ventaja competitiva y disminuir costos (Feinberg, Sostenibilidad y *Call Centers* en América Latina, 2011).

Para el buen funcionamiento de un centro de contacto y solución, deben realizarse proyecciones acertadas del tráfico de las llamadas que van a ingresar a las líneas telefónicas y de igual manera debe programarse eficazmente al personal. Una mala planificación puede llevar al exceso o escasez de agentes, lo que se traduce en pérdidas para el negocio e insatisfacción en el caso de servicio al cliente. En el entorno operativo, los modelos tradicionales son de gran valor y al mismo tiempo limitados en su capacidad para caracterizar el comportamiento de las llamadas en los centros de contacto (Gans, 2003), por lo que se hace necesario complementar estas metodologías y ajustarlas a las necesidades propias de los centros de contacto. Además, la falta de una metodología de referencia puede generar confusiones y grandes diferencias en las estimaciones de un mismo proceso -*Workforce*-.

Muchos autores, han desarrollado teorías y metodologías para ayudar en la toma de decisiones en un centro de contacto y solución. Entre dichas metodologías se encuentran: Modelos de Colas, Series de Tiempo, Cadenas de Markov, Modelos de Optimización, Modelos Erlang, Procesos de Simulación, Regresión no paramétrica y Herramientas Heurísticas. Particularmente, Mandelbaum (Mandelbaum, *Call Centers*, 2006) proporciona una bibliografía completa relacionada con el proceso *Workforce* en los centros de contacto y solución. Incluye referencias y resúmenes de más de 250 trabajos de investigación en una amplia gama de disciplinas y una lista de sitios *Web* donde se pueden conocer los avances de la investigación en el área. La aplicación de la mayoría de métodos matemáticos y empíricos tradicionales para la estimación del tráfico, exige el cumplimiento de varios supuestos sobre el proceso que pocas veces se cumple. Por ejemplo, un método ampliamente utilizado es la utilización del proceso de Poisson, que describe el comportamiento de arribos de llamadas al *Call Center*, sin embargo, para poder aplicar este proceso se parte del hecho de que el arribo de llamadas al centro de contacto y solución es estacionaria, es decir, que en cualquier intervalo de tiempo del día, el número de llamadas que ingresan al *Call Center* es el mismo. No obstante, en la vida real generalmente no se presenta este comportamiento, lo que lleva a que las conclusiones dadas a partir de esta metodología sean sesgadas y erróneas. La carencia de sustento estadístico-matemático y por ende científico, puede dar pie a estimaciones y procedimientos sesgados y resultados no óptimos.

## 1.1 Centros de contacto telefónicos y proceso *Workforce*

Un centro de contacto está conformado principalmente por dos factores que intervienen en la prestación de servicios: agentes o asesores (Customer Service Representative) y equipos de telecomunicaciones. Estos factores comprenden un complejo sistema que debe ser planificado y estudiado detalladamente.



Seguindo a (Koole G., *Optimization of Business Processes An Introduction to Applied Stochastic Modeling*, 2010), el número de centros de llamadas está aumentando rápidamente; muchas empresas ven un centro de llamadas como una manera de tener una estrecha relación con el cliente; este crecimiento, está impulsado por una serie de avances tecnológicos, sobre todo en el ámbito de la información y la comunicación (TIC). Aquí intervienen las PABX's (*Private Automatic Branch Exchanges*, centrales telefónicas en las empresas) los cuales conectan la red de teléfonos públicos a los teléfonos del centro de contacto y apoyan la distribución automática de llamadas ACD (*Automatic Call Distribution*). Un número de extensiones telefónicas se encuentran conectadas para cada PABX's, el conmutador ACD es capaz de seleccionar un extensión donde se encuentra un agente libre para contestar una llamada entrante a través de una determinada línea. Los centros de contacto también cuentan con IVR (*Interactive Voice Response*) que consiste en un sistema telefónico que es capaz de recibir una llamada e interactuar con el usuario. Se consideran de igual de importantes los avances en las tecnologías de la información; un agente hoy en día puede acceder a archivos almacenados en una fracción de segundo lo que permite por ejemplo, conocer la información de un usuario a partir de su número de telefónico. Generalmente se manejan varios tipos de llamadas y tráfico; se contemplan llamadas entrantes y salientes (*Inbound y Outbound*) y tráfico para diferentes procesos como por ejemplo: información sobre la facturación,

fallas con el servicio, ventas, soporte técnico, etc. El funcionamiento de los centros de contacto se basa en habilidades de enrutamiento, término que se refiere a las reglas que controlan la llegada de una determinada llamada a una respuesta automática o a un agente.

La fuerza de trabajo o *Workforce Management*, es el nombre comúnmente utilizado para referirse al ciclo de planificación que resulta en la programación de los turnos y agentes de un centro de contacto, para diferentes periodos de tiempo. Como *Input* se utilizan datos históricos del centro de llamadas como las cargas del tráfico de llamadas y la información sobre la disponibilidad de los agentes, el *Output* consiste en el número óptimo de agentes y en los horarios de los mismos (Koole G., *Call Center Optimization*, 2013). El proceso *Workforce* se compone de las siguientes cuatro etapas:

**Forecasting:** análisis y estimación del volumen de llamadas en un determinado periodo de tiempo.

**Dimensionamiento:** identificación de la capacidad o recurso necesario para satisfacer el número de llamadas.

**Scheduling:** definición del número óptimo de agentes necesarios en intervalos de tiempo.

**Rostering:** planificación acertada de turnos.

El objetivo principal de este artículo consiste en diseñar y validar un modelo óptimo de gestión para *Call Centers* que se ajuste a los requerimientos del mercado y que maneje los supuestos teórico-prácticos de líneas de espera y estadística, donde se incluyan estimaciones de tráfico de llamadas y programación de la fuerza de trabajo, comparando el desempeño de este modelo con el de las metodologías tradicionales.

A continuación, se presentan algunos términos clave del lenguaje de los centros de contacto:

**Tabla 1.** Definiciones clave. Centro de contacto.

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN
<i>Average Speed of Answer</i>	El tiempo promedio necesario para que una llamada sea atendida.
<i>Average Talk Time</i>	El tiempo promedio que un usuario espera para ser conectado con un agente.
<i>Queue Time</i>	La cantidad de tiempo necesario para que la persona que llama sea atendida.
<i>Calls Per Hour</i>	El número medio de llamadas que un agente responde por hora.
<i>Hold Time</i>	El tiempo medio de un usuario en espera.
<i>Occupancy</i>	El tiempo medio necesario para un agente en su asiento.
<i>Blocked Calls</i>	El número total de ocupados y fuera de orden troncales telefónicas que bloquear las llamadas.
<i>Abandonment Rate</i>	El porcentaje de llamadas que se desconectan antes de ser contestadas.
<i>Service Level</i>	Porcentaje de transacciones que deben ser atendidas dentro de determinado periodo.

**Fuente.** Jungmok., (2011).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para adelantar la metodología, se tienen en cuenta las bases de datos correspondientes a las llamadas ofrecidas en el periodo de agosto de 2012 a febrero de 2013 de un centro de contacto y la base de datos de personal que contiene la información socio demográfica de los agentes del centro de contacto a corte de marzo de 2013. Para poder estimar el volumen de llamadas ofrecidas, se contará con un histórico de estos, la muestra experimental con la que se cuenta corresponde a las llamadas ofrecidas desde el 1 de agosto de 2012 hasta el 17 de febrero de 2013, la semana comprendida entre los días 18 a 24 de febrero será tomada como muestra de comprobación del modelo predictivo estimado con el fin de medir qué tan bien está estimando el modelo las llamadas ofrecidas. A continuación, se presenta la metodología que se desarrolló para cada uno de los pasos de la metodología *Workforce*.

A partir del análisis de la revisión bibliográfica en el contexto de la historia e investigación y de la revisión de los portafolios de empresas del mercado que ofrecen sus servicios de *Workforce*, se detectaron principalmente dos debilidades que dejan al descubierto, el por qué se hace necesario establecer una completa metodología en torno al proceso *Workforce*:

- ♦ Sesgo y subjetividad por la interferencia del capital humano a cargo de la planeación.
- ♦ Una caja negra con el procedimiento para adelantar el proceso *Workforce*.

En primera instancia, cada analista *Workforce* realiza las proyecciones de una manera diferente según sus conocimientos, experiencia y suposiciones; es decir, a la variabilidad natural de los procesos, se está agregando un sesgo adicional que depende de las personas que están realizando las proyecciones y planeación de la malla de turnos. Además, el desconocimiento del método utilizado por las empresas en el mercado de los *Call Center* no permite que se haga seguimiento y control a las estimaciones y tampoco que se incluyan en la metodología oportunidades de mejora.

Estas debilidades desembocan en una ausencia de sustento estadístico en las metodologías utilizadas en las etapas del proceso, lo cual inmediatamente lleva a que no se pueda medir el sesgo de las conclusiones extraídas a partir de la metodología y peor aún, que las estimaciones sean erróneas, generando pérdidas de capital e insatisfacción en los clientes.



Los modelos tradicionales son de gran valor pero al mismo tiempo fundamentalmente limitados (Gans, Koole y Mandelbaum, 2003), por lo que es necesario complementar y ajustar estas metodologías a lo que requiera el centro de contacto.

A continuación, se presenta un resumen de la metodología que se desarrolló para el proceso *Workforce*:

- ♦ Estimar por medio de un análisis de series temporales un modelo de predicción para cada proceso al cual se esté interesado realizar la estimación del número de llamadas ofrecidas.
- ♦ Ajuste la función de densidad de la distribución de llamadas intra día mediante métodos Kernel para la correcta distribución de este tráfico durante cada día.
- ♦ Consolidar base de datos histórica del ingreso de llamadas en intervalos de 15 minutos, donde se evidencia el Tiempo Promedio de Conversación (TPC).
- ♦ Consolidar base de datos con información socio-demográfica de los agentes del centro de contacto.
- ♦ Identificar variaciones en el TPC y relacionar cuáles variables influyen en este comportamiento.
- ♦ Realizar un árbol de clasificación con la información de los agentes y teniendo en cuenta el TPC, para agruparlos homogéneamente.
- ♦ Dimensionar el número de llamadas estimado, por cada grupo de agentes.
- ♦ Desarrollar un modelo de programación lineal para minimizar el número de agentes contratados.
- ♦ A partir de la optimización, elegir la duración y planificación adecuada de la malla de turnos.

A continuación, se detallan los pasos de la metodología por cada una de las etapas del *Workforce*.

## 2.1 Forecasting

Para estimar el número de llamadas diarias ofrecidas se utiliza como metodología estadística, los modelos de series de tiempo, es decir, para cada proceso al cual se esté interesado realizar la estimación del número de llamadas ofrecidas, se debe estimar un modelo de series de tiempo. La elección de este modelo depende del comportamiento histórico del arribo de llamadas, comportamiento que está asociado a las propiedades de la series de tiempo, este modelo permite estimar, en un horizonte de tiempo definido, el número de llamadas ofrecidas día a día asociando una medida de incertidumbre que servirá como indicador de calidad de la estimación.

Para la estimación intra-día, se utiliza el ajuste de la función de densidad mediante métodos Kernel, que indica cómo están arribando las llamadas dentro de cada día; luego de garantizar un buen ajuste de la función Kernel, se procederá a calcular la integral bajo la curva en cada uno de los 96 intervalos de 15 minutos que hay a lo largo del día. Esta función se estima después de realizar pruebas sobre su variabilidad en los niveles como día, semana del mes y mes, con el fin de garantizar su estabilidad, es decir, si se observa por ejemplo que la única fuente de variabilidad es el día de la semana se debería estimar una función de densidad para cada día de la semana.

## 2.2 Dimensionamiento

Considerando los riesgos que supone el uso indiscriminado de promedios del tiempo de conversación para realizar el dimensionamiento, se propone hacer un análisis más detallado del tiempo promedio de conversación de los agentes, para identificar posibles diferencias en su TPC que permitan que el dimensionamiento del personal necesario para satisfacer la demanda de llamadas sea más asertivo. Los pasos a seguir son los siguientes:

- ♦ Consolidar una base de datos de por lo menos los últimos dos meses, que contenga la información de las llamadas recibidas, para poder identificar

por intervalos de 15 minutos el TPC promedio de conversación por agente y el Tiempo Promedio Productivo TPA del agente (15 minutos, Tiempo Auxiliar).

- ♦ Actualizar la base de datos con la información socio-demográfica de los agentes. cxdsf donde se incluya por ejemplo: Login ID, C.C., nombre y apellido, género, estado civil, edad (en años), número de hijos, número personas a cargo, nivel de estudios, tipo contrato, segmento, operación, aliado, antigüedad en la empresa (en meses).
- ♦ Realizar gráficos descriptivos tales como *Box-Plot* y diagramas de dispersión para observar si existe algún patrón de comportamiento entre el TPC y alguna variable particular de las anteriormente descritas y un análisis de varianza para identificar y corroborar cuáles de las variables están influenciando en gran medida en que el TPC presente diferencias significativas. De no ser posible validar los supuestos para aplicar un análisis de varianza, debe aplicarse alguna de las pruebas no paramétricas.
- ♦ Realizar un árbol de clasificación, identificando los perfiles de agentes del centro de contacto, teniendo en cuenta las principales variables que influyen en el comportamiento del TPC y que definen grupos homogéneos con determinadas características.
- ♦ Realizar el dimensionamiento, considerando los grupos de agentes resultantes de acuerdo con las diferencias que se hayan identificado en los ítems anteriores.

Después de identificados los grupos de agentes para este proceso y teniendo en cuenta la frecuencia de agentes en cada grupo, se realiza una distribución de las llamadas estimadas en cada grupo de la siguiente manera:

Sean:

$i = 1, 2, \dots, 96$  que representa los intervalos de tiempo de 15 minutos en que esta particionado el día.

$j = 1, 2, \dots, n$  los grupos de agentes en que se encuentra segmentado el centro de contacto y solución.

$f_{ij}$  la frecuencia agentes del grupo  $j$ -ésimo

Entonces, el número de llamadas que entrarán en el intervalo de 15 minutos se puede escribir de la siguiente manera:

$$f_1 x_{i1} + f_2 x_{i2} + \dots + f_n x_{in} = x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{in}$$

La expresión  $f_1 x_{i1} = x_{i1}$  se traduce como el número de llamadas que contestaría el grupo de agentes número 1, del total de llamadas estimadas que ingresarían al intervalo de tiempo  $i$ -ésimo.

Ahora, sea:

$TPC_j$  el Tiempo Promedio de Conversación de los agentes del grupo  $j$ -ésimo.

$TPA_j$  el Tiempo Promedio Productivo de los Agentes del grupo  $j$ -ésimo (tiempo en el que el agente está ocupado).

Entonces el número de puestos requerido para contestar las llamadas recibidas en el intervalo  $i$ -ésimo es:

$$N_i = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{96} \frac{x_{ij} TPC_j}{TPA_j}$$

Adicionalmente, siguiendo las consideraciones de (Gans, 2003), para cumplir las exigencias de atención al cliente se debe garantizar que el nivel de servicio no sea inferior a un nivel de servicio deseado. De donde el número de puestos necesarios para cubrir la demanda de llamadas en el intervalo  $i$ -ésimo, para un nivel de servicio del  $TSF^* = 95\%$  es:

$$N_i = \min \{N / TSF \geq TSF^*\} = \min \{N \mid TSF \geq 95\%\}$$

Finalmente, debe tenerse en cuenta el porcentaje máximo admitido de reductores, por lo que debe sumarse al número de puestos estimados, el porcentaje de agentes que no se encuentren laborando por razones propias o ajenas al centro de contacto.



## 2.3 Scheduling + Rostering

Para poder encontrar el número óptimo de agentes, se propone un modelo de programación lineal donde la función objetivo a minimizar sea el número de agentes contratados. Además, mediante los resultados de esta optimización se podrá elegir la duración y planificación adecuada de la malla de turnos de los agentes. Cabe destacar que la metodología anteriormente expuesta y detallada en las secciones posteriores, es una

metodología supervisada, por lo que deberá mantenerse una verificación de la validez de los modelos y de ser necesario, un ajuste de los mismos. Por las diferencias en el comportamiento entre los diferentes procesos del centro de contacto, para cada proceso se debe replicar la misma metodología anteriormente propuesta. Los resultados aquí expuestos son válidos para el proceso de SAC. Finalmente, los procedimientos aquí desarrollados se realizan en los programas estadísticos R-project, SPSS y Excel.

# 3. RESULTADOS

En primera instancia, se realiza un análisis descriptivo y exploratorio de la información. Es de interés conocer el comportamiento de las llamadas a lo largo del año, mes, semana y día para poder establecer picos de llamadas y valles. Esto, con el fin de identificar fuentes de variabilidad que nos ayude en la construcción de modelos de predicción con menos incertidumbre asociada en sus estimaciones. Los datos deben estar totalizados mensualmente, diariamente y detallados hasta por intervalos en cada día (intervalos que se definirán posteriormente). En este análisis, se deben tener en cuenta las llamadas ofrecidas.

## 3.1 Análisis mes a mes

Para poder determinar el comportamiento mes a mes de las llamadas ofrecidas, es necesario poder contar con la siguiente información:

Mes	Observación	Tamaño muestra
1	$N_{11}, N_{12}, \dots, N_{1n_1}$	$n_1$
2	$N_{21}, N_{22}, \dots, N_{2n_2}$	$n_2$
...		...
p	$N_{p1}, N_{p2}, \dots, N_{pnp}$	$np$

Donde  $p$  es el número de meses a analizar,  $n_i$  el número de días observados en el mes  $i$  y  $N_{ij}$  número de llamadas ofrecidas en el mes  $i$  día  $j$ .

Con esta información se podrá evaluar el siguiente sistema de hipótesis estadística:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_p$$

$$H_a: \exists j \mu_i \neq \mu_j$$

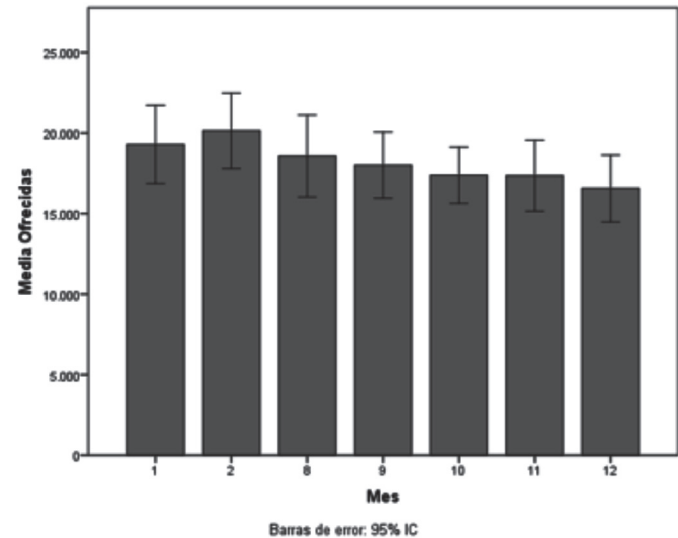
Donde  $\mu_i$  es el promedio del mes  $i$ , este sistema de hipótesis se evalúa mediante un análisis de varianza ANOVA, esta técnica paramétrica busca poder establecer si existe fuente de variabilidad debido a los tratamientos, niveles o factores (meses) del experimento que se está midiendo (llamadas ofrecidas), esto con el fin de identificar si existen tratamientos en donde el comportamiento del experimento es diferente. Los supuestos a evaluar en esta prueba son:

- ♦ La variable dependiente debe medirse al menos a nivel de intervalo.
- ♦ Independencia de las observaciones.
- ♦ La distribución de los residuales debe ser normal.
- ♦ Homoscedasticidad: homogeneidad de las varianzas.

La idea es poder establecer meses que tienen un comportamiento muy diferente, esos meses tratarlos aparte y quedarse con el conjunto de tratamientos más grande en donde la  $H_0$  sea no rechazada a un nivel de confianza de 95%. Se aplica la prueba de Kruskal-

Wallis con información recolectada de las llamadas ofrecidas de los meses de agosto de 2012 a febrero de 2013 del proceso de SAC, obteniendo como resultado que el  $p$ -valor de la prueba de Kruska-Wallis es mayor a 0.05, por tal razón existe evidencia estadística para no rechazar  $H_0$ . Es decir, a un nivel de confianza del 95% la mediana de las llamadas mes a mes es estadísticamente igual, las variaciones que existen son solo debidas al azar.

Figura 1. P-valor prueba K-W: Grupo 1: 0.5651 y Grupo 2: 0.3554.



### 3.2 Análisis de llamadas por semana del mes

Ahora, se realiza el mismo análisis que el anterior, pero con semana del mes en lugar de meses, esto con el fin de observar si las semanas son una fuente de variación.

Semana del mes	Observación	Tamaño muestra
1	$s_{11}, s_{12}, \dots, s_{1p}$	$p$
2	$s_{21}, s_{22}, \dots, s_{2p}$	$p$
3	$s_{31}, s_{32}, \dots, s_{3p}$	$p$
4	$s_{41}, s_{42}, \dots, s_{4p}$	$p$
5	$s_{51}, s_{52}, \dots, s_{5p}$	$p$

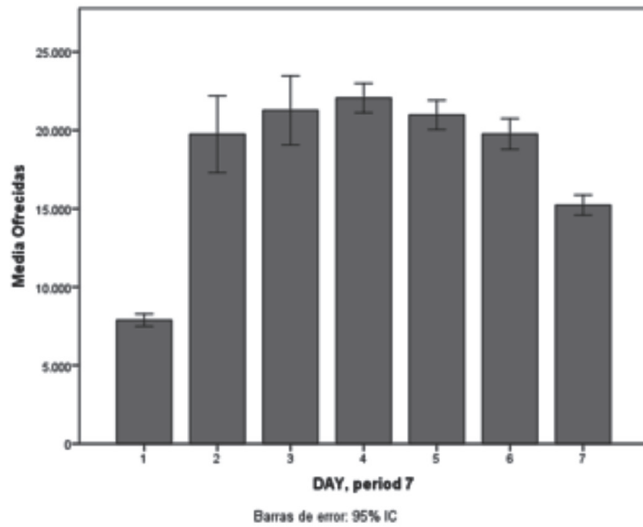
Donde  $p$  es el número de meses a analizar,  $s_{ij}$  número de llamadas ofrecidas la semana  $i$  del mes  $j$ . Para ilustrar este procedimiento, a continuación se evalúa si estadísticamente las medianas en las semanas tienen un comportamiento homogéneo, se evalúa la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y se observa que el  $p$ -valor de la prueba es mayor a 0.05, por tal razón existe evidencia estadística para no rechazar la  $H_0$ . Es decir, a un nivel de confianza del 95% se puede concluir que las medianas de llamadas no es diferente entre las semanas.

### 3.3 Análisis de llamadas en días de la semana

Para este caso, se hace el mismo proceso que se realizó para los meses y semanas. La información necesaria se resume en la siguiente tabla:

Día de la semana	Observación	Tamaño muestra
1	$d_{11}, d_{12}, \dots, d_{1s1}$	$s_1$
2	$d_{21}, d_{22}, \dots, d_{2s2}$	$s_2$
...		...
7	$d_{71}, d_{72}, \dots, d_{7s7}$	$s_7$

Donde  $s_i$  corresponde a la cantidad de días  $i$  de la semana en los meses observados y  $d_{ij}$  es el número de llamadas ofrecidas el  $j$ -ésimo día del mes  $i$ . Las pruebas a realizar son exactamente igual a las anteriores, en esta se evaluará si el día de la semana es una fuente de variación de las llamadas ofrecidas. Para ilustrar este procedimiento, se realizarán las pruebas sobre la información, a continuación se evalúa si estadísticamente las medianas en los días de las semanas poseen un comportamiento homogéneo. El  $p$ -valor de la prueba de Kruskal-Wallis es muy pequeño, por tal razón se rechaza la  $H_0$  a un nivel de confianza del 95%, con este resultado se debe verificar qué días están generando el rechazo de la  $H_0$ . A continuación, ilustraremos esto realizando la comparación dos a dos:

**Figura 2.** Comparaciones dos a dos.

**Fuente.** Elaboración propia.

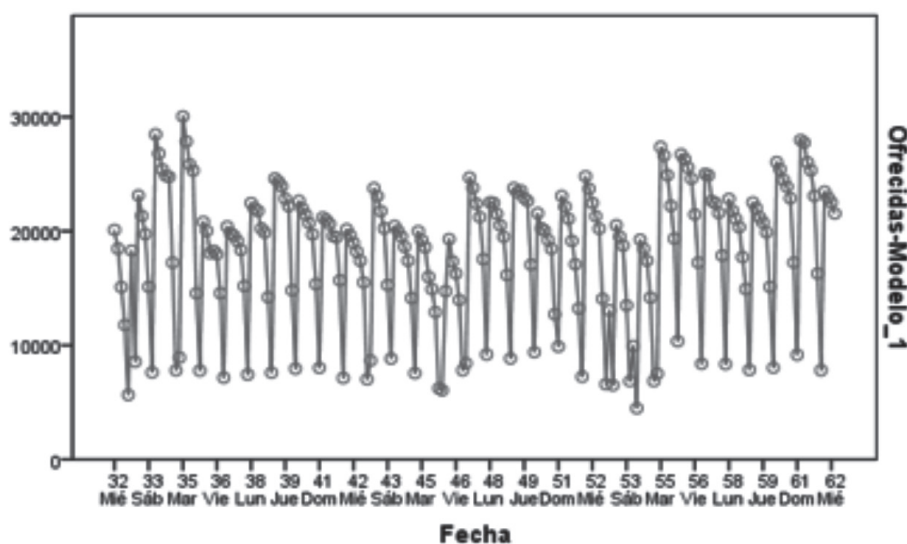
Existe una diferencia estadística entre los días lunes, martes, miércoles, jueves y viernes con los días sábado, domingo. Al hacer la anterior agrupación, se podrá controlar varianza del proceso debido a que estos dos grupos tienen un comportamiento estadísticamente distinto, respecto a arribo de llamadas. Se presenta revisando los resultados obtenidos al comparar los días festivos, no fines de semana, y el resto de días de la semana sin incluir sábados ni domingos; se observa un comportamiento distinto, por lo tanto esto sugiere tener en cuenta el día de la semana como

fuente de variabilidad, sabiendo que los fines de semana y festivos difieren en su comportamiento con el resto de días.

### 3.4 Forecasting

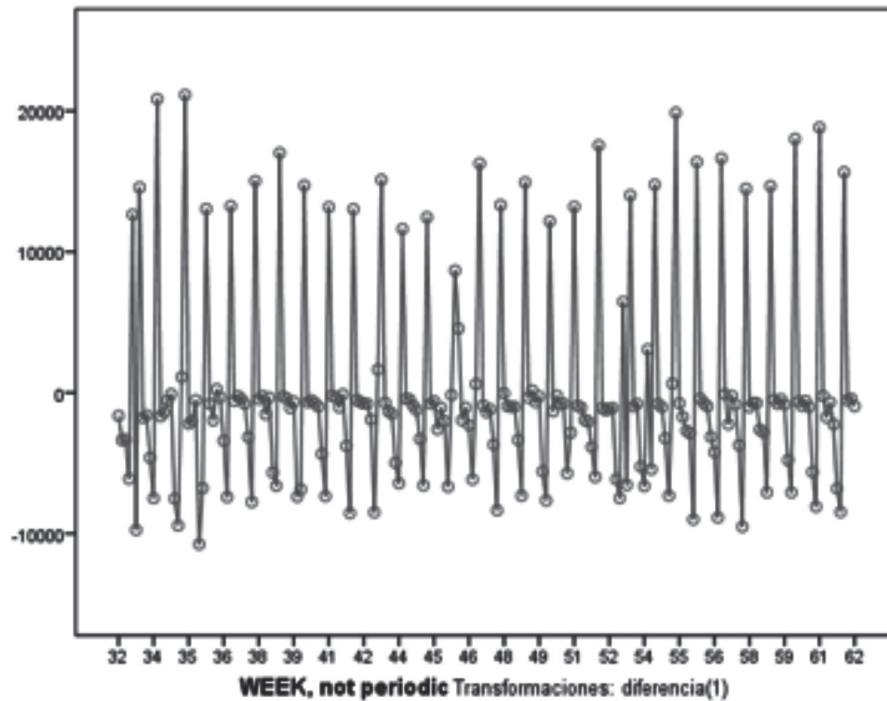
El *Forecasting* se refiere al número de arribos y el tiempo transcurrido entre ellos. En este primer estado de la metodología, se busca poder establecer a groso modo el número de llamadas que ingresan a la central telefónica, este proceso por su naturaleza es estocástico, es decir, dada cualquier ventana de tiempo es imposible con absoluta certeza saber el número de clientes que se comunicarán con la central telefónica. Por tal razón es importante entender la realización de este proceso con el fin de poder tener control sobre él, para lo cual se implementarán metodologías estadísticas tanto paramétricas (asumen algunos supuestos distribucionales) como no paramétricas, esta decisión se basará en la exploración inicial de la información y con ella, poder identificar cuál modelo estocástico utilizar.

Se presenta la serie de tiempo, (Figura 3) teniendo en cuenta que la periodicidad de la serie es siete y en ella se puede observar un comportamiento estacional, con varianza constante y aparentemente un comportamiento no constante en media.

**Figura 3.** Serie observada desde el 1 de agosto hasta el 24 de febrero de 2012

La serie diferenciada se observa a continuación (figura 4) como una estabilización tanto de la media como de la varianza, por tal razón se puede considerar la serie estacionaria.

**Figura 4.** Serie diferenciada desde el 1 de agosto hasta el 17 de febrero de 2012.



Se muestra la función de autocorrelación con el fin de identificar el orden de modelar la serie mediante un modelo AR; así mismo, se presenta la función de autocorrelación parcial la cual indicará el grado del mismo. Se observa cómo la función de autocorrelación decae exponencialmente, lo cual sugiere modelar la serie mediante un modelo AR, cuyo orden no debería superar los siete rezagos; por otra parte, también se observa que la función de autocorrelación semiparcial decae exponencialmente; por lo tanto la serie puede ser modelada mediante un modelo MA cuyo orden no debería superar el rezago 14. Cabe resaltar la existencia de un comportamiento estacional debido a que los

rezagos 7 y 14 son significativamente diferentes de cero. Como modelo de partida se propone el modelo SARIMA(7,1,14)(2,1,1) incluyendo en el modelo, una variable explicativa que capture el comportamiento de los fines de semana y festivos. Esta variable se llamará "Hábil" que toma el valor 0 si el día observado es sábado, domingo o festivo, y 1 en el resto; en seguida se comienza el proceso de depuración de variables con el fin de dejar el modelo cuyos coeficientes asociados sean estadísticamente significativos y garanticen que la pérdida de información sea mínima. Esto se puede garantizar supervisando el BIC.

Figura 5. ACF.

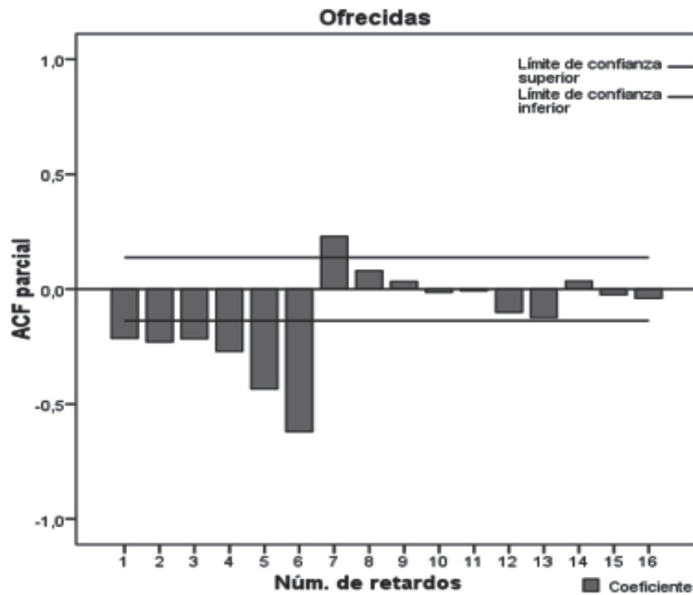
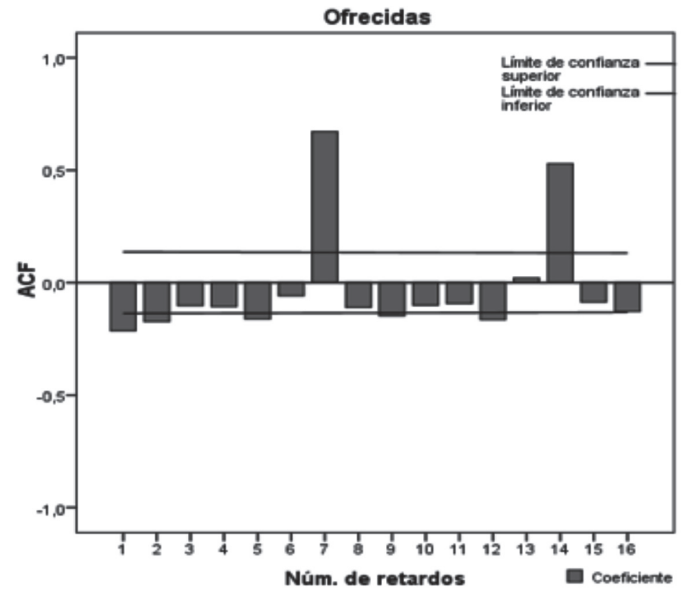


Figura 6. ACF.



Después del proceso de reducción de parámetros (se extraen una a una las variables que no son significativas) se logró estimar el modelo SARIMA(1,0,0) (1,1,1) en el cual se pudo identificar 10 valores atípicos

en su gran mayoría de naturaleza aditiva, es decir, existe algún factor externo que cambia el comportamiento de la serie en un punto, pero después ella vuelve a su comportamiento habitual. A continuación, se observan los valores atípicos detectados y su significancia estadística.

Tabla 2. Valores atípicos asociados a la serie de tiempo.

Valores atípicos				
Llamadas ofrecidas	Estimación	ET	t	Sig.
34 Lun Transiente Magnitud	7931.186	916.839	8,651	.000
Factor de decrecimiento	.746	.090	8,330	.000
35 Mar Aditivo	7961.129	923.038	8,625	.000
35 Mié Aditivo	7161.335	1094.822	6,541	.000
36 Jue Aditivo	5339.023	1079.999	4,944	.000
35 Vie Aditivo	4978.190	885.085	5,625	.000
46 Mar Aditivo	-5388.372	706.704	-7,625	.000
51 Dom Aditivo	3060.312	707.287	4.327	.000
53 Lun Aditivo estacional	-9771.882	997.386	-9.797	.000
55 Lun Aditivo	10502.932	1303.247	8.059	.000
56 Lun Aditivo estacional	4753.775	1076.668	4,415	.000

El modelo estimado, presenta un BIC normalizado de 14.68, el modelo con el más pequeño BIC de los estudiados a partir del modelo de partida SARIMA (7,1,14) (2,1,1) y los modelos de suavizamiento clásicos.

Tabla 3. Parámetros estimados modelo SARIMA (1,0,0) (1,1,1).

Parámetros del modelo ARIMA						
Llamadas ofrecidas			Estimación	ET	t	Sig.
Sin transform	AR	Retardo 1	.801	.038	21.087	.000
	AR, estacional	Retardo 1	-.998	.017	-58.353	.000
	Diferenciación estacional		1			
Habil	MA; estacional	Retardo 1	-.981	.075	-13.122	.000
Sin transform	Numerador	Retardo 0	13531.204	331.668	40.797	.000
	Diferenciación estacional		1			

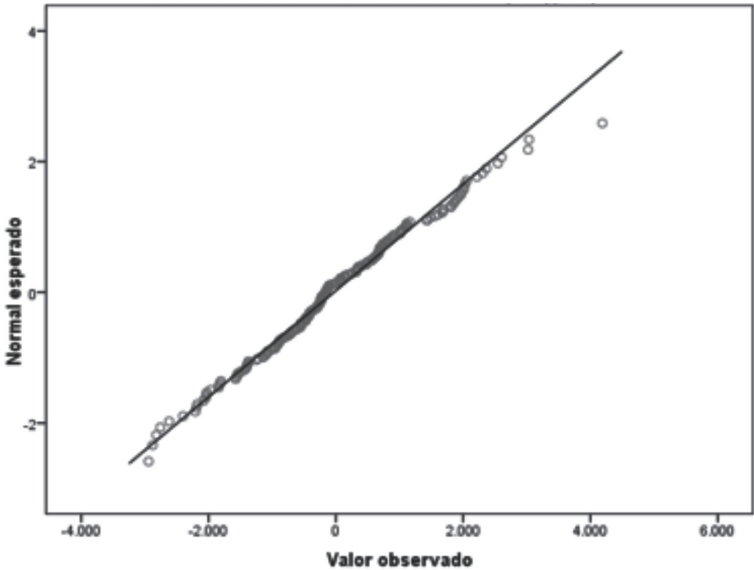
Se evalúa el modelo en cuanto a sus supuestos paramétricos, con el fin de garantizar la estabilidad del mismo.

3.5 ¿Los residuales son ruido blanco?

Para contestar esta pregunta, se debe garantizar que los residuos son realizados mediante un modelo

normal. Para poder concluir ello, se realizarán las pruebas de bondad y ajuste como lo son las pruebas de Kolmogorov Smirnov y Shapiro Wilks; en ellas, se puede notar que la prueba de Shapiro Wilks apoya la hipótesis de normalidad, sin embargo, la de KS la rechaza. Se puede concluir que la prueba de KS la rechaza debido a la presencia de datos atípicos, pues esta prueba es muy sensible a estos valores.

Figura 6. Residuos pruebas de normalidad SW y KS modelo SARIMA(1,0,0)(1,1,1).





**Tabla 4.** Pruebas de normalidad.

	Kolmogorov - Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro - Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Ruido residual de ofrecidas-Modelo_1	.068	205	.021	.990	205	.189

**a. Corrección de la significación de Lilliefors**

**Fuente.** Elaboración propia.

Ahora se debe evaluar si estadísticamente se puede considerar que la realización de los residuales es cero y su varianza es constante; para ello, se realizarán

las pruebas t-una muestra y la prueba de Levene para la homogeneidad de varianza. Estas pruebas apoyan las hipótesis del modelo a un nivel de confianza del 95%.

**Tabla 5.** Pruebas de homogeneidad de varianza y media igual cero residuales, modelo SARIMA(1,0,0)(1,1,1).

Prueba para una muestra						
	Valor de prueba = 0					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Ruido residual de ofrecidas-Modelo_1	-.375	204	.708	-32.174	-201.41	137.06

Prueba de homogeneidad de varianzas			
Ruido residual de ofrecidas-Modelo_1			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
1.191	2	202	.306

**Fuente.** Elaboración propia.

La función de autocorrelación parcial y semiparcial muestral de los residuales, no demuestran ningún comportamiento AR o MA, lo cual garantiza que los residuales no tienen ninguna estructura asociada y son solamente realizados al azar con lo cual se finaliza la evaluación de los supuestos del modelo. Los resultados

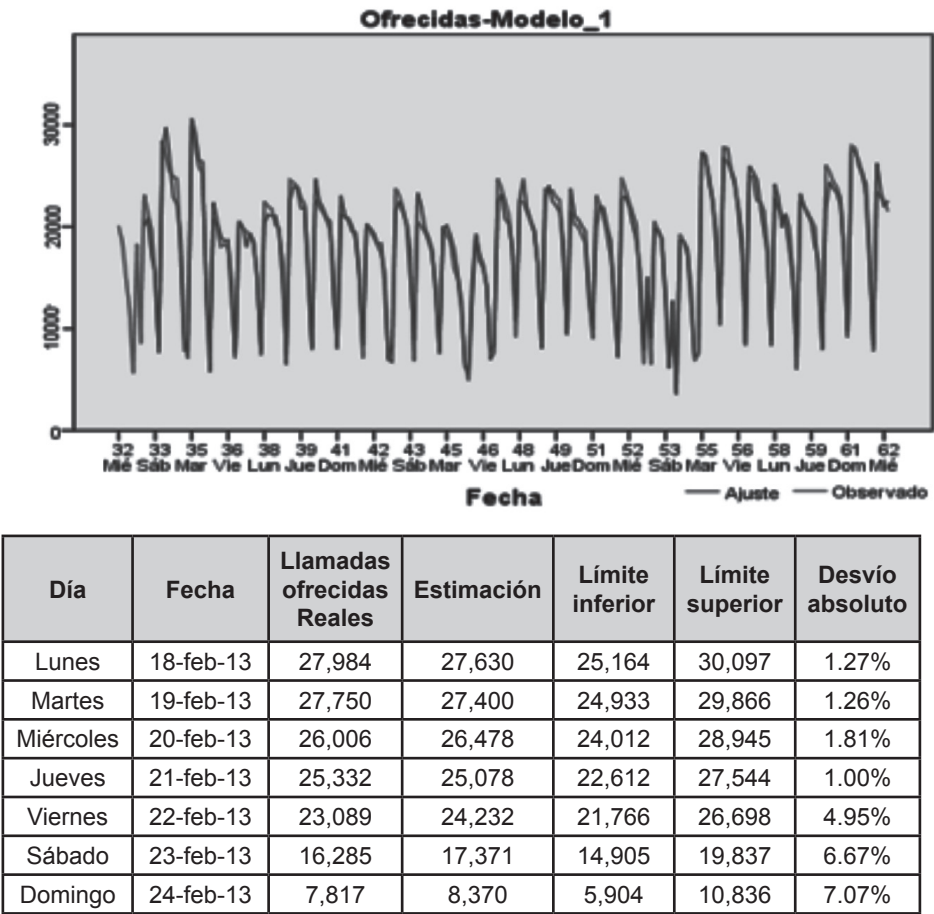
referentes, a qué tan bien está estimando el modelo en el horizonte de tiempo (muestra de comprobación), que se eligió para la comprobación del mismo. Se evidencia la serie de tiempo observada y la ajustada por el modelo y en ella se identifica claramente el buen ajuste del mismo. Como apoyo numérico del ajuste,

encontramos las estimaciones realizadas por el modelo; se puede observar un desvío absoluto promedio del 3,43%, este es calculado de la siguiente manera:

$$D_t = \frac{|X_t - \hat{X}_t|}{X_t}$$

Corresponde a la proporción del desvío con respecto al verdadero valor de la estimación. Este valor debe ser lo más pequeño posible, por lo cual es importante aclarar que disminuir esta medida no es nada fácil pues corresponde a una proporción, es decir, pasar de un desvío de 5% a 3% no es sencillo.

Figura 8. Ajuste y resultados de validación modelo SARIMA(1,0,0)(1,1,1).



El modelo está ajustado y comprobado, ya está listo para realizar estimaciones a lo más en un horizonte de  $\sqrt{n}$  donde  $n$  corresponde al tamaño de la muestra utilizada para la construcción del modelo, es decir, en este caso  $\sqrt{191} \approx 14$  o dos semanas. A medida que el modelo se alimente, se podrán realizar estimaciones en un horizonte mayor. Se recomienda calibrar el modelo cada  $\sqrt{n}$  periodos.

Como parte integral de una investigación y de la validación de una metodología para modelar un evento en particular, se hace necesario poder realizar una validez empírica y contrastar con resultados que ya se tengan, por tal razón se realizó a la par de esta metodología, la aplicación de cada uno de los pasos concernientes al *Workforce*. Para el caso, se solicitó a tres aliados seleccionados al azar que realizarán la estimación de las llamadas ofrecidas para el horizonte de tiempo que

se tomó como validación. Cabe resaltar que los cálculos que ellos realizan como lo son promedios móviles, no tienen asociado ningún nivel de incertidumbre lo que

conlleva a un total desconocimiento de la veracidad de sus conclusiones. A continuación, se muestra estos resultados obteniendo como mejores pronósticos la metodología propuesta (Tabla 6).

**Tabla 6.** Comparación estimaciones del tráfico aliados y metodología propuesta.

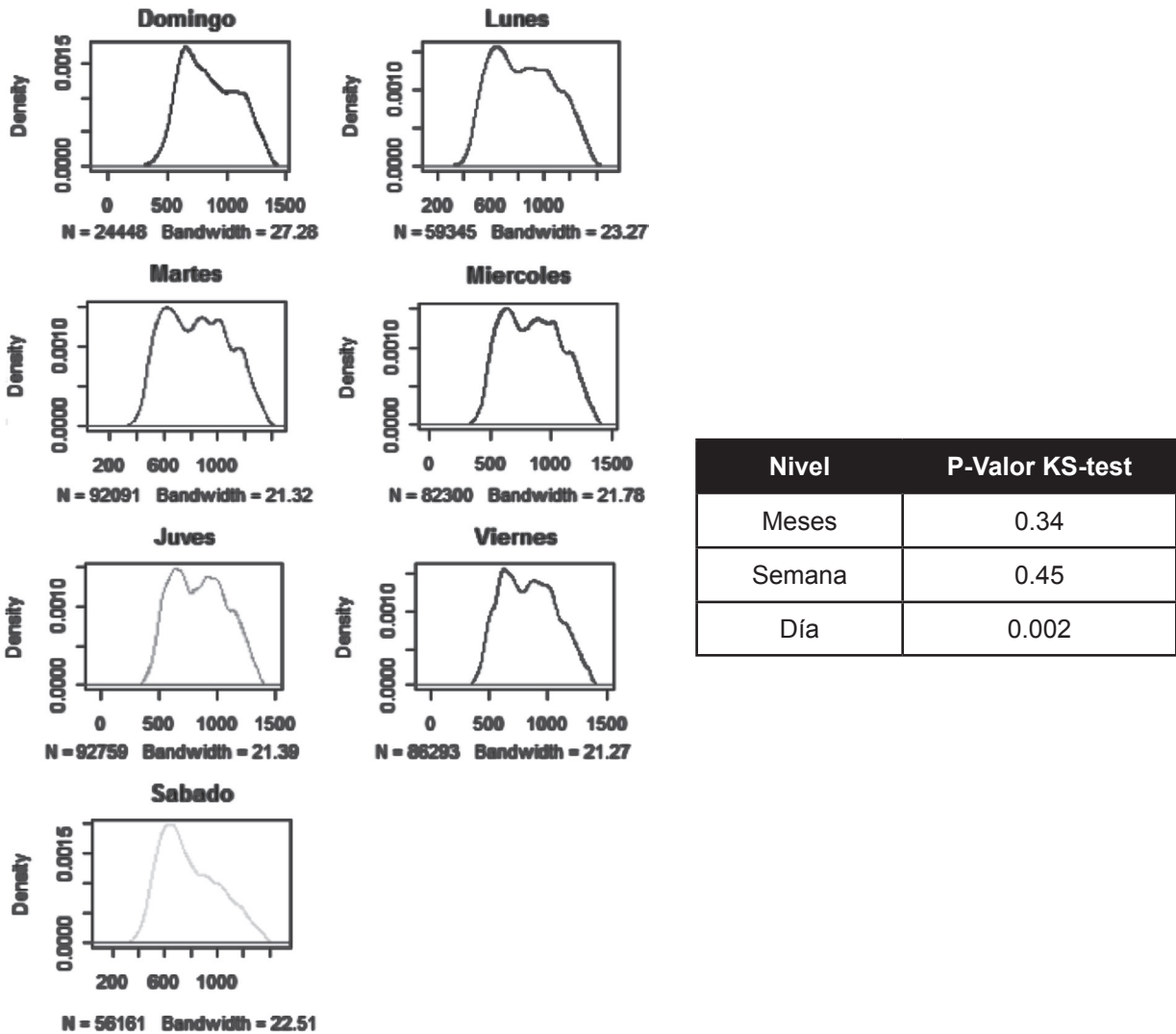
Día	Llamadas ofrecidas	ESTIMACIÓN				DESVIO ABSOLUTO			
		Aliado 1	Aliado 2	Aliado 3	Metodología	Aliado 1	Aliado 2	Aliado 3	Metodología
Lunes	27,984	24,904	23,053	21,519	27,630	11.01%	17.62%	23.10%	1.27%
Martes	27,750	24,306	22,859	27,486	27,400	12.41%	17.62%	0.95%	1.26%
Miércoles	26,006	23,560	23,532	25,507	26,478	9.41%	9.51%	1.92%	1.81%
Jueves	25,332	22,948	22,790	24,729	25,078	9.41%	10.04%	2.38%	1.00%
Viernes	23,089	20,838	21,239	23,565	24,232	9.75%	8.01%	2.06%	4.95%
Sábado	16,285	16,187	16,659	17,706	17,371	0.60%	2.30%	8.72%	6.67%
Domingo	7,817	7,844	8,805	8,462	8,370	0.34%	12.64%	8.26%	7.07%

### 3.6 Distribución intra-día

Para poder establecer la distribución intra-día, es necesario estimar la función de densidad del arribo de la variable "tiempo transcurrido" a partir de la media noche hasta que una llamada ingresa al *Contact Center*. Se dispone la información del total de llamadas ofrecidas para tres meses, con la cual se realizó una serie de pruebas no paramétricas sobre la distribución de esta variable para diferentes niveles, mes, semana del mes y día de la semana. Con estos resultados, se

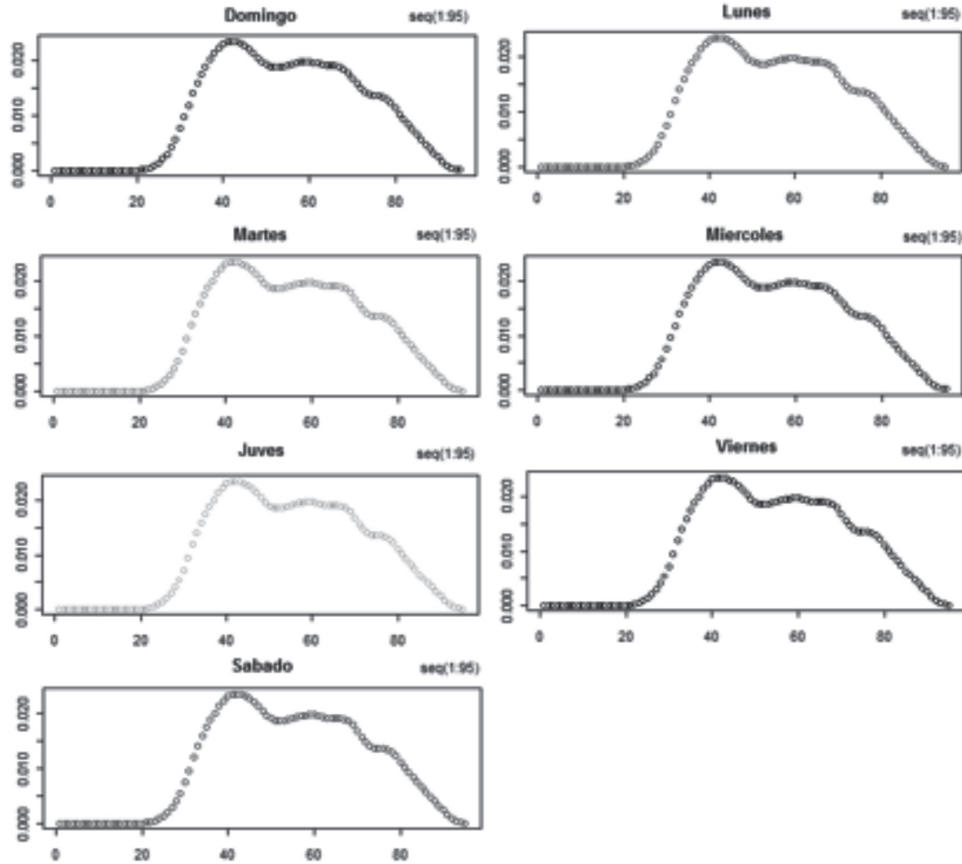
pudo concluir que la función de densidad no varía mes a mes, ni semana a semana pero sí día a día, por tal razón es necesario poder establecer la distribución de esta variable para cada uno de los días de la semana. A continuación, se muestran los resultados de las pruebas de igualdad distribucional en los niveles ya mencionados; esta prueba corresponde a la prueba de Kolmogorov Smirnov la cual compara si dado ciertos grupos, se puede considerar estadísticamente igual la distribución de una variable o no.

Figura 9. Función de densidad estimada utilizando Kernel Gausiano.



Se elige el Kernel Gaussiano para estimar la función de densidad, debido a que es el que genera menos error cuadrático medio entre los cuatro tipos de Kernel utilizados (Triangular, Gaussiano, *Triweight* y *Epanechnikov*). Por cuestiones prácticas estandarizaremos el proceso a estimar el área bajo la curva cada 15 minutos; a continuación se encuentra la estimación del área bajo la curva para cada uno de los 95 intervalos de 15 minutos que hay en un día; esta estimación se

realizó utilizando métodos numéricos de integración como lo es el método de Simpson, la función a integrar es la función de densidad con el Kernel Gaussiano asociado y su ancho de banda estimado. Se puede observar un máximo absoluto del arribo de llamadas para todos los días de la semana alrededor de las 10:30 am, después de un crecimiento monótono que comienza a las 5:00 am; a partir de las 7 pm, existe un decrecimiento monótono del ingreso de llamadas.

**Figura 10.** Área bajo la curva para cada uno de los 96 intervalos de 15 minutos continuos existentes en un día.

La estimación intra-día está determinada del siguiente modo: si llamamos  $x_{it}$  = número de llamadas ofrecidas el día  $t$  en el intervalo  $i$  con  $i=1,2,\dots,96$  entonces  $x_{it}=p_i \cdot X_t$  donde recordemos que  $p_i$  es la probabilidad que existan arribos de llamadas en el

intervalo  $i$  del día y  $X_t$  la estimación del volumen de llamadas que ingresan el día  $t$ . A continuación, se presenta un cuadro comparativo entre la metodología propuesta y la distribución realizada por los aliados, se calcula el mínimo, el máximo, el promedio de los desvíos absolutos y la mediana de los desvíos absolutos.

**Tabla 7.** Comparación estimación Intra-Día. Metodología propuesta y la de aliados.

Día	Fecha	Llamadas ofrecidas Reales	Ali 1	Ali 2	Ali 3	Metodología
Lunes	18-feb-13	27,984	27	24	12	10
Martes	19-feb-13	27,750	23	23	14	9
Miércoles	20-feb-13	26,006	20	12	23	9
Jueves	21-feb-13	25,332	34	23	21	5
Viernes	22-feb-13	23,089	34	43	20	11
Sábado	23-feb-13	16,285	37	12	22	43
Domingo	24-feb-13	7,817	18	11	24	7

Puede observarse que la diferencia absoluta entre el número de llamadas ofrecidas reales y la estimación realizada por medio de la metodología propuesta, es menor que la realizada por los aliados. Para el aliado 1, la diferencia es de 39 llamadas, para el aliado 2 de seis llamadas y para el aliado 3, es de 18 llamadas.

A la luz de los anteriores resultados, se puede afirmar que la metodología propuesta para la etapa *Forecasting* del *Workforce* que consta de la estimación día a día del tráfico mediante modelos de series de tiempo y la aplicación de funciones Kernel para estimar la distribución intra-día es más eficiente que las actuales.

### 3.7 Dimensionamiento

El dimensionamiento en un centro de contacto y solución, es un paso fundamental en el proceso *Workforce* que impacta directamente en los clientes del centro de contacto, en los usuarios y en los gastos de una compañía. Se trata de calcular cuál es el número de puestos de trabajo de agentes que se requieren para satisfacer determinado número de llamadas en un periodo de tiempo. Esta etapa del proceso es de suma importancia, pues su precisión permite alcanzar los indicadores exigidos al centro de contacto, tal como el nivel de servicio; reducir el costo de contratación de personal y finalmente, atender de forma oportuna y rápida a los usuarios.

El método más extendido para encontrar el número de puestos necesarios para responder las llamadas en un determinado periodo de tiempo, es el uso de las fórmulas *Erlang*. En los modelos *Erlang* se tienen en cuenta, entre otros, el número esperado de llamadas, el tiempo de ocupación de un agente y el tiempo promedio de conversación. Sin embargo, como lo indican muchos autores como Brase (2011), el promedio aritmético no debe usarse indiscriminadamente. En algunas ocasiones, el uso del promedio para explicar el comportamiento de una variable desdibuja su verdadero comportamiento; por ejemplo, una llamada

atípica cuya duración sea superior a una hora, subiría el tiempo promedio de conversación, lo que conllevaría a sobreestimar el número de agentes necesarios para satisfacer la demanda de llamadas. Otro ejemplo de ello son las características inherentes al agente, como por ejemplo su antigüedad en la empresa, o el tiempo que lleva manejando un proceso, su edad o su nivel de educación, que pueden hacer que el tiempo de conversación aumente o disminuya.

En el caso de este estudio, los datos se encuentran en la ventana de tiempo que comprende del 15 de enero hasta el 15 de marzo de 2013, la información de los agentes se toma de la base de datos de personal de la empresa. El número de asesores para esta empresa de estudio, es de 727. Un breve resumen de las características de los agentes, comprende que el 65.34% del personal es de género femenino; el 51.31% de los agentes tienen nivel de escolaridad técnica, seguida de universitaria con el 25.45% y secundaria con el 22.97%, el 46,35% de los agentes tiene entre 21 y 25 años y el 24.07% entre 26 y 30 años. La gran mayoría de los agentes, el 87.72%, es soltero/a, el 20,63% tiene por lo menos un hijo y el 30% tiene personas a su cargo. Además, la empresa en estudio cuenta con seis aliados, concentrándose el número de agentes en el Aliado 6 con el 55.16% de los casos, seguido del Aliado 4 con el 27%. Los agentes se encuentran divididos en seis segmentos, siendo el segmento siete el que concentra el mayor número de agentes con el 44.8%; también, están distribuidos en cuatro operaciones, entre las que se encuentra SAC donde se reúne el 78.68% de los agentes (570 agentes). La antigüedad en la empresa de estudio de los agentes en el 33.7% de los casos, es menor a tres meses y 32.74%, entre cuatro y nueve meses.

A continuación, se presentan las figuras de *Box-Plot* del tiempo promedio de conversación de los agentes, que como se ha indicado anteriormente, permiten realizar comparaciones entre grupos, en este caso, comparar el tiempo promedio de conversación de los agentes, dependiendo de determinadas características.





Se observa que según el género, las mujeres tienen un TPC levemente más alto que los hombres, los agentes que tienen grado de escolaridad secundaria presentan un TPC más bajo, al igual que los agentes cuyo estado civil es unión libre. Sin embargo, gráficamente no se evidencian diferencias significativas en el TPC.

Existen diferencias en el TPC de los agentes que pertenecen a los aliados cinco y seis. De igual manera,

se evidencian diferencias en el segmento al que pertenecen los clientes y en la operación a la que ingresan las llamadas.

Particularmente, se evidencian gráficamente diferencias significativas en el TPC teniendo en cuenta el proceso al que pertenecen los agentes, por lo que se hacen pruebas para sustentar estadísticamente esta hipótesis. Cabe destacar que mediante los gráficos descriptivos, también se pueden identificar como se ha mencionado, comportamientos atípicos de los agentes.

**Figura 11.** *BoxPlot* TPR-Género, nivel de estudio, estado civil y edad.

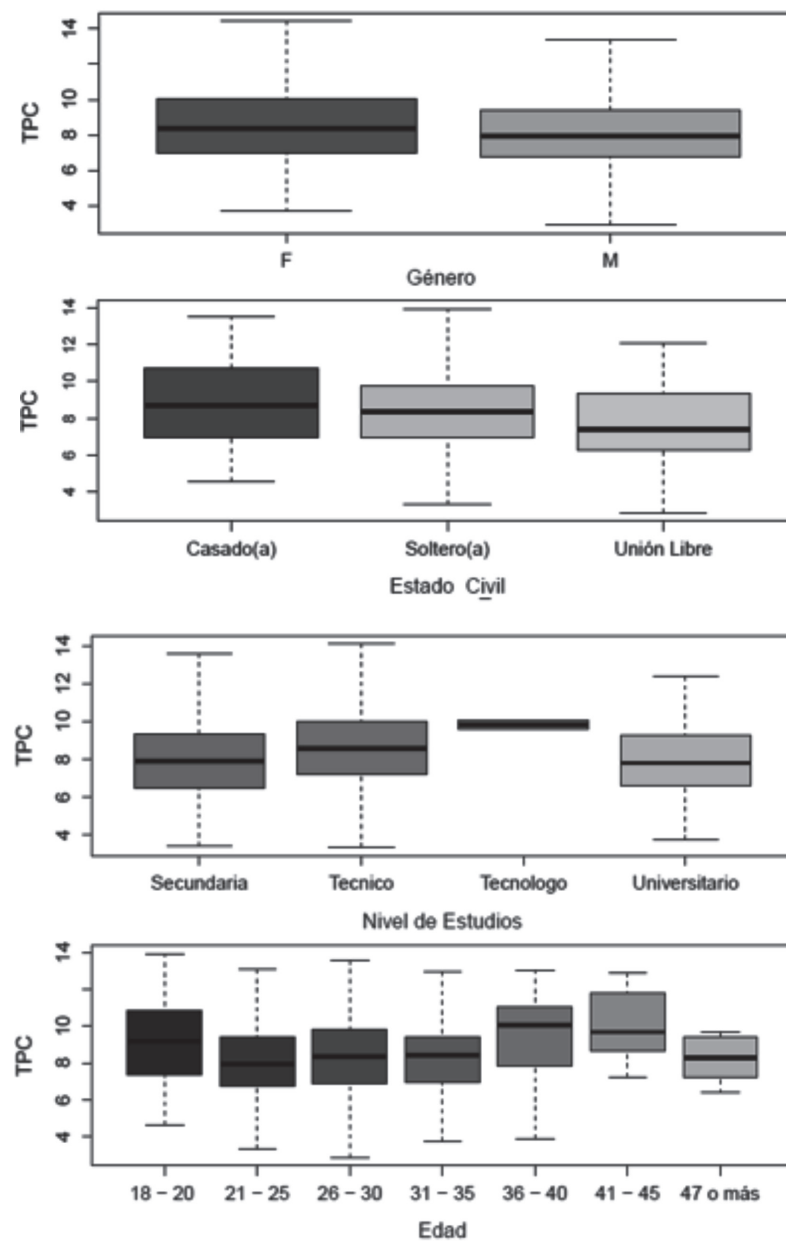
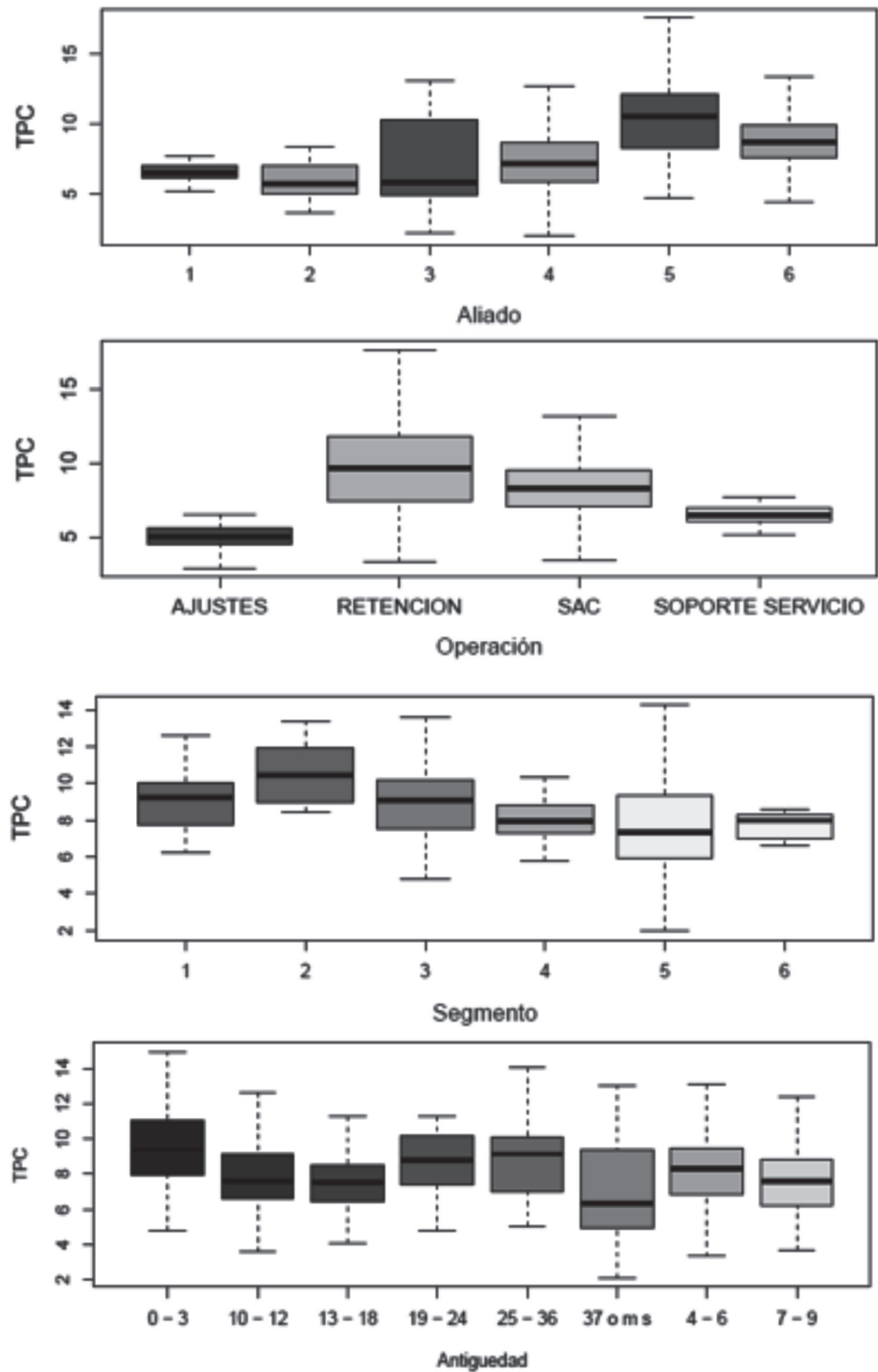


Figura 12. BoxPlot TPR-Aliado, operación, segmento y antigüedad.



A continuación se presenta el ANOVA realizado en el programa estadístico *R-project* para observar si las variables socio-económicas influyen en el comportamiento del TPC. Particularmente se presentan los resultados para las variables operación, edad y género.

**Figura 13.** Anova factores socio demográficos.

```
p.aov <- aov(TPC ~ Operacion + Genero
+ Estado_Civil + Edad)
summary(p.aov)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Operación	3	472	157.28	32.935	<2e-16 ***
Género	1	23	22.78	4.770	0.0293 *
Estado_Civil	2	11	5.37	1.125	0.3254
Edad	6	74	12.28	2.572	0.0180 *
Residuals	713	3405	4.78		

Se observa que el p-valor del ANOVA para los factores operación, género y la edad, es inferior a un nivel de significación del 5%, es decir, hay diferencias significativas entre los TPC de los agentes de las diferentes operaciones, en el TPC según el género del agente y según su edad. Particularmente para la operación, el p-valor de la prueba es menor que el 1%, lo que es un indicativo de que el TPC difiere en gran medida dependiendo de las categorías de la variable operación. Ya que el TPC es un *Input* para encontrar el número de agentes necesarios para satisfacer la cantidad de llamadas, se debe considerar realizar el dimensionamiento para cada una de las operaciones por separado, siguiendo el caso de estudio. A continuación se realiza el análisis para SAC.

Se presentan los resultados del árbol de clasificación, el cual tuvo como tratamiento previo la estandarización de la variable TPC (restar a cada valor la media de la variable y dividirlo por su desviación estándar), y la creación de tres categorías a partir de los valores de esta variable, así:

**Bajo:** TPC inferiores a -0.5 desviaciones estándar de la media.

**Medio:** TPC entre -0.5 y 0.5 desviaciones estándar de la media.

**Alto:** TPS superiores a 0.5 desviaciones estándar de la media.

Tras realizar diferentes pruebas, se seleccionan las variables independientes más probables e internamente el procedimiento excluye de forma automática cualquier variable de las seleccionadas cuya contribución al modelo final no sea significativa.

Se puede observar que la variable que discrimina en mayor medida el grupo de asesores, es la antigüedad del agente trabajando en el centro de contacto y seguidamente, el nivel de estudios del mismo. Se identifican seis grupos de agentes definidos como sigue:

**Grupo 1:** *Antigüedad* inferior a 3 meses.

**Grupo 2:** *Antigüedad* entre 3 y 8 meses y *Nivel educativo:* Secundario y Universitario

**Grupo 3:** *Antigüedad* entre 3 y 8 meses y *Nivel educativo:* Técnico.

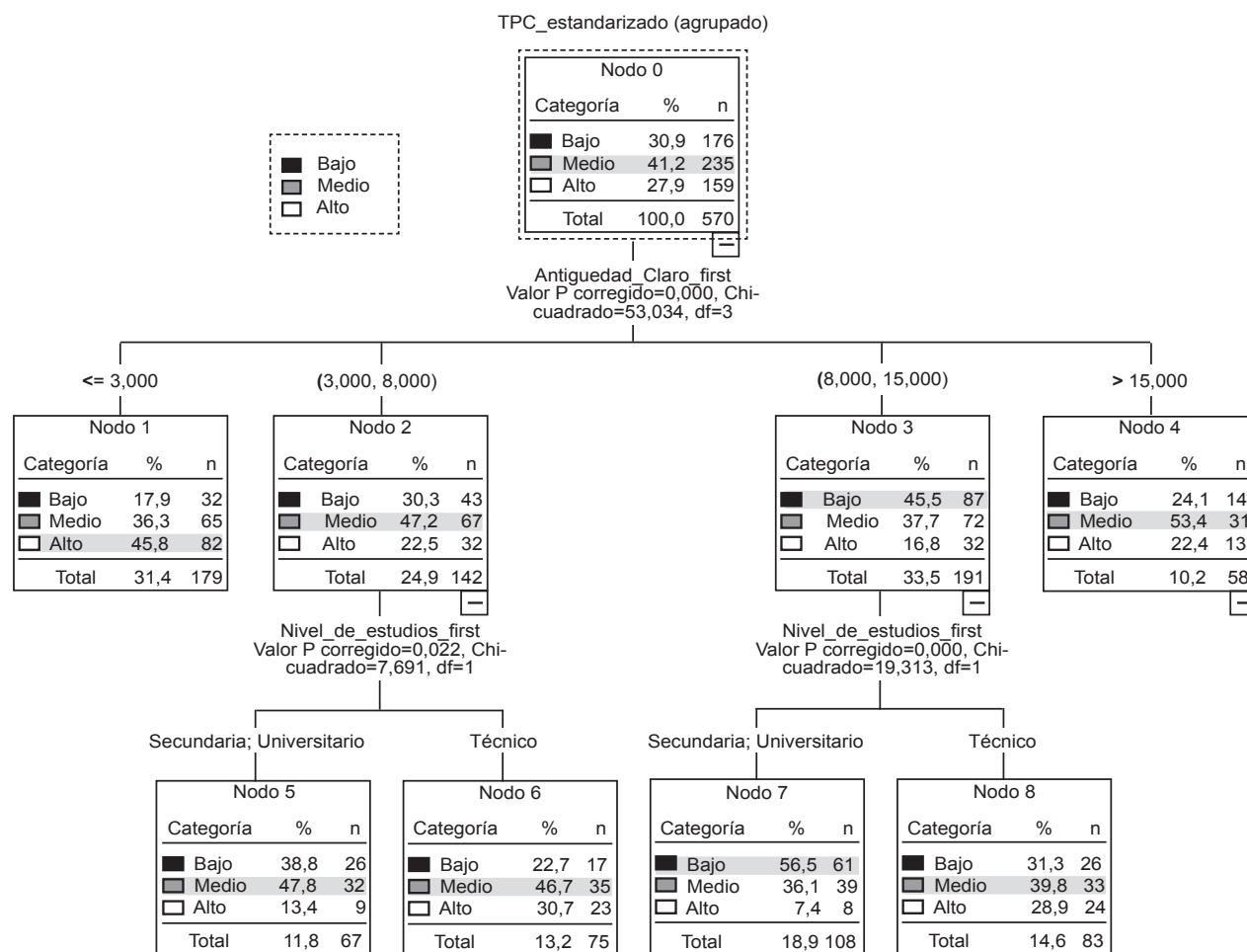
**Grupo 4:** *Antigüedad* entre 8 y 15 meses y *Nivel educativo:* Secundario y Universitario.

**Grupo 5:** *Antigüedad* entre 8 y 15 meses y *Nivel educativo:* Técnico.

**Grupo 6:** *Antigüedad* superior a 15 meses.

El paso a seguir, es encontrar el TPC y TPA promedio de cada uno de los perfiles de agentes encontrados en el árbol de clasificación y el tiempo productivo de los agentes de dichos grupos para adelantar el dimensionamiento.

**Figura 14.** Árbol de clasificación, TPC agentes SAC.



Se encuentra el resumen de los tiempos encontrados para cada grupo de agentes de SAC y adicionalmente, el tamaño de cada grupo (Tabla 8).

**Tabla 8.** Resumen por grupos del TPC y TPA promedio agentes SAC.

Grupo	Tamaño Grupo	Frecuencia Grupo = f <sub>i</sub>	Tiempo	Media	Mínimo	Máximo	Desv. típ.
1	179	31,4%	TPC	9,7	1,0	17,4	2,4
			TPA	13,5	8,2	14,4	0,6
2	67	11,8%	TPC	7,7	3,4	13,4	2,2
			TPA	13,3	11,9	14,4	0,6
3	75	13,2%	TPC	8,8	3,7	13,4	2,0
			TPA	13,1	8,3	14,8	1,0
4	108	18,9%	TPC	6,8	2,0	11,9	1,8
			TPA	13,4	12,3	14,5	0,5

Ahora, se procede a hacer el dimensionamiento para cada uno de los seis grupos de agentes de manera independiente. Se presentan en detalle los resultados obtenidos para el grupo 1.

$$\begin{aligned} TPC\_1 &= 9,7 \\ TPA\_1 &= 13,5 \end{aligned}$$

Luego, para cada intervalo  $i$ -ésimo, se necesitarán los siguientes  $N_i$  puestos de trabajo del grupo 1.

$$N_i = \sum_{i=1}^{96} \frac{x_{i1} TPC\_1}{TPA\_1} = \sum_{i=1}^{96} \frac{x_{i1} 9,7}{13,5}$$

Y el número de puestos total en cada intervalo  $i$ -ésimo necesarios, será la suma de los puestos de cada uno de los seis grupos. Se minimiza este valor para efficientar hacer más eficientes los gastos manteniendo los niveles de servicio y finalmente, se adiciona un porcentaje de puestos adicional definido por los reductores para evitar que por las ausencias de agentes se pierda el nivel de servicio.

**Tabla 9.** % Máximo admitido-reductores

Reductor	% Permitido
% de Descansos	6.5 %
% de capacitación (1 hora semanal)	2 %
% Desperdicio	2 %
% Incumplimiento al turno	3 %
% Desconexiones autorizadas	4 %
% de vacaciones	5 %
Ausentismo	5 %
Rotación	8 %
Licencias y permisos	2 %

Se presenta una muestra del número de agentes por intervalo de tiempo que se necesitarían para cubrir la demanda de llamadas entrantes como valor absoluto y como mínimo admitido de agentes, también se presenta el número de agentes necesarios teniendo en cuenta los reductores. Además se presenta el TSF que se alcanzaría con el respectivo número de agentes, lo que evidencia que el valor mínimo de TSF es el 97%.

Cabe destacar que el porcentaje de reductores es fácilmente modificable, según las necesidades del centro de contacto.

A continuación, se presenta la comparación de los resultados obtenidos con la metodología propuesta y mediante las metodologías de dos aliados (calculadora de Erlang) para el día 24 de febrero de 2014.

Se evidencia que sin descuidar el nivel de servicio, el número total de puestos necesarios para cubrir la demanda del día disminuye drásticamente, lo que en términos de costos puede llegar a ser significativo.



p.209

Posteriormente, se realizan las comparaciones desde las seis de la mañana, pues es el inicio de la operación de uno de los aliados.

**Tabla 0.** Resumen dimensionamiento agentes SAC - día 24/02/2013.

Intervalo - i	$x_i$	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Ni	Mínimo Ni	TSF	Ni+ Reductores
0:00	58	13,1	3,9	5,1	5,6	5,5	3,8	37	20	97 %	27
0:15	7	1,7	0,5	0,7	0,7	0,7	0,5	5	5	98 %	8
0:30	24	5,5	1,6	2,2	2,3	2,3	1,6	16	15	100 %	21
0:45	16	3,6	1,1	1,4	1,5	1,5	1,1	11	8	97 %	12
1:00	16	3,6	1,1	1,4	1,5	1,5	1,1	13	8	97 %	12
1:15	8	1,8	0,5	0,7	0,8	0,8	0,5	6	5	97 %	7
1:30	8	1,8	0,5	0,7	0,8	0,8	0,5	6	5	97 %	7
1:45	0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1	0	100 %	1
2:00	0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2	2	100 %	4
2:15	1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	3	2	99 %	4
2:30	24	5,5	1,7	2,2	2,4	2,3	1,6	17	10	95 %	15
2:45	8	1,7	0,5	0,7	0,7	0,7	0,5	5	5	97 %	8
3:00	1	0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	2	2	99 %	4
3:15	8	1,7	0,5	0,7	0,7	0,7	0,5	6	5	98 %	8
3:30	7	1,6	0,5	0,6	0,7	0,7	0,5	7	5	98 %	8
3:45	2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1	0	100 %	2
4:00	2	0,4	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	2	3	99 %	5
4:15	15	3,4	1,0	1,3	1,4	1,4	1,0	11	8	98 %	12
4:30	2	0,4	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	2	2	95 %	3
4:45	23	5,3	1,6	2,1	2,3	2,2	1,6	18	10	96 %	14
5:00	29	6,6	2,0	2,6	2,8	2,8	1,9	20	12	97 %	18
5:15	18	4,2	1,2	1,6	1,8	1,8	1,2	13	9	98 %	14
5:30	3	0,8	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	4	3	96 %	5
5:45	29	6,6	2,0	2,6	2,8	2,8	2,0	21	12	97 %	18
6:00	145	32,8	9,8	12,9	14,0	13,9	9,6	93	42	96 %	58

**Nota.** Se realizan las comparaciones desde las seis de la mañana, pues es el inicio de la operación de uno de los aliados. Es una gran ganancia que manteniendo el nivel de servicio exigido al *Contact Center*, se puede llegar reducir el número de agentes necesarios. Además, el hecho de tener mayor confiabilidad en las proyecciones intra-día, permite tener mayor tranquilidad con el número de agentes considerados necesarios en dicho intervalo.



**Tabla 11.** Dimensionamiento agentes SAC- día 24/02/2013.

Intervalo- i	Aliado 1	Aliado 3	Metodología
6:00	13	23	58
6:15	20	23	93
6:30	25	23	131
6:45	36	23	145
7:00	57	56	159
7:15	80	56	198
7:30	109	97	269
7:45	143	97	348
8:00	178	156	311
8:15	247	156	267
8:30	293	225	193
8:45	323	225	154
9:00	353	266	70
9:15	380	266	113
9:30	395	282	200
9:45	409	282	179
:	:	:	:
23:00	47	47	48
23:15	31	47	35
23:30	28	30	38
23:45	25	30	34
<b>Total</b>	<b>19324</b>	<b>13246</b>	<b>9466</b>

### 3.8 Scheduling

Uno de los enfoques del proceso *Workforce* es construir una programación de los agentes del centro de contacto donde se reduzcan los costos operativos, pero al mismo tiempo, se logre atender de manera apropiada y a tiempo los requerimiento de los clientes. La programación de agentes depende del volumen de llamadas, el intervalo de tiempo en que llegan las llamadas (según las estimaciones de las previsiones de volumen de llamada), los niveles de servicio previstos, etc, (Aksin,2007). El *Scheduling* hace referencia a poder decidir cuántas personas contratar para cada turno de manera que se satisfagan los niveles mínimos de agentes deseados. Se deben tener en cuenta restricciones laborales, costos, etc. El proceso de optimización, debe garantizar que las jornadas cubren toda la carga de trabajo y que se respetan todos los

condicionantes que marcan los diferentes tipos de contrato de los trabajadores.

Para poder alcanzar este resultado, se propone un modelo de programación lineal, el cual está estructurado de la siguiente manera:

Suponiendo que se generan turnos de cuatro horas al día, con interrupciones de máximo una hora seguida; bajo este escenario se pueden crear un total de 81 turnos diferentes. El modelo de optimización lineal está dado por:

$T$ = Número de periodos.

$L$ = Duración de los turnos (en este caso 4).

$R_t$ = Puestos de trabajo requeridos en el periodo  $t$ .

$i=1,2,3,\dots,T$  Periodos.

$j=1,2,3,\dots,M$  turnos.

Llamaremos  $a_t$  el número de agentes que comienzan su turno en el periodo  $t$  ( $t = 1,2,3,\dots,24$ ). Dichos agentes estarían activos en  $t,t+1,t+2,t+3$ . La función objetivo a minimizar es el número de agentes contratados es decir minimizar:

$$\sum_{t=1}^{T-4} a_t$$

Si definimos la matriz  $A_{ij}$  como una matriz de unos y ceros, donde  $A_{ij}=1$  si el turno  $j$  cubre el periodo  $i$ , el modelo se puede expresar de la siguiente manera:

$$\text{Sujeto } \min\{z\} = \sum_{t=1}^{T-4} a_t$$

$$\sum_{j=1}^M A_{ij} a_j \geq R_i$$

$$a_j \in \mathbb{Z}^+$$

El ejercicio se realizó usando la herramienta *Solver* de Excel. Se obtuvo un total de 1.159 agentes a contratar con horarios de cuatro horas o su equivalente; 580 agentes con horarios de ocho horas, la elección de estas horas puede ser acordada con el agente, de acuerdo con sus necesidades. A continuación, se muestra un resumen de la optimización realizada, este ejercicio se elaboró para el dimensionamiento del día 24 de febrero de 2013.

**Tabla 12.** Resultados puestos requeridos. Dimensionamiento Vs agentes.

Periodo	Total Agentes	Requeridos (Dim)
1	27	27
2	27	11
3	27	14
4	27	8
5	189	13
6	189	17
7	316	145
8	348	348
9	311	311
10	200	200
11	319	319
12	287	253
13	287	287
14	204	204
15	110	110
16	54	54
17	170	170
18	399	399
19	281	281
20	355	94
21	233	216
22	130	130
23	98	98
24	48	48

Mientras que la programación de turnos tradicionalmente se realiza de una manera empírica, el procedimiento propuesto en esta metodología permite encontrar según la distribución del tráfico de llamadas, los turnos óptimos que permitan continuar brindando el mejor servicio con el menor número de personal disponible. Con este procedimiento, se garantiza una programación de turnos estandarizada y eficiente, que no va a depender solamente del personal del centro de contacto, sino de un procedimiento matemático riguroso muy fácil de implementar e interpretar.

### 3.9 Rostering

En los centros de contacto y solución, el *Rostering* hace referencia a la composición y planificación de turnos para utilizar el recurso planeado de manera adecuada. Implica restricciones adicionales como la duración de los turnos o los periodos de descanso de los agentes. Durante el proceso de planificación también se deben tener en cuenta los aspectos de satisfacción de restricciones temporales y las necesidades de uso de recursos.

En la etapa del *Scheduling*, deben satisfacerse las restricciones de agentes mínimos para mantener sobre el porcentaje deseado el nivel de servicio. Como indica Galipienso (2001), un enfoque de trabajo consiste en integrar los procesos de planificación y *Scheduling*, en una única arquitectura, de forma que ambos trabajen conjuntamente; así, los resultados óptimos obtenidos en el *Scheduling* sustentan los planes parciales obtenidos en el *Rostering*. En este caso, el procedimiento adelantado utiliza una matriz  $A_{ij}$  que contiene todos los 81 turnos posibles de cuatro horas con descanso de una hora, el procedimiento de optimización lineal desarrollado, programa de manera óptima el número de agentes necesarios en cada uno de los 81 turnos. Sin embargo, entre estos, existen los llamados turnos baldíos, donde el número de agentes programados es cero. Seleccionando aquéllos donde se tiene planificado un determinado número de agentes mayor que cero, se obtiene una submatriz  $M_{ij}$  que contiene el conjunto que conformará la malla o grilla de turnos de los agentes.

En el caso de los aliados, se destaca que no se presenta una metodología que busque optimizar los recursos. Además, la programación de la malla de turnos se realiza manualmente, lo que puede producir sobre/subestimaciones del número de agentes para satisfacer el ingreso de llamadas y desorganización en la programación de los turnos.

En este punto, también aparece como ventaja, que es posible encontrar otro tipo de turnos no necesariamente de tiempo completo (ocho horas), sino que se abre la posibilidad de programarlos eficientemente

en franjas que garantizarán la atención, pero acomodándose quizá a obligaciones u horarios personales que pueda tener el agente y que permitirá que este último también se beneficie y quiera trabajar con el centro de contacto, contribuyendo a disminuir la rotación. Todo

esto con el correspondiente sustento y efectividad matemática.

A continuación se presenta la matriz  $M$  para el ejercicio del día lunes 24 de febrero de 2013, la cual contiene 16 turnos (Tabla 13).

**Tasbla** 13. Malla de turnos- día 24 de febrero de 2014.

	t1	t5	t7	t8	t10	...	t55	t58	t59
00:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00	0	1	0	0	0	0	0	0	0
05:00	0	1	0	0	0	0	0	0	0
06:00	0	1	1	0	0	0	0	0	0
07:00	0	1	1	1	0	0	0	0	0
08:00	0	0	1	1	0	0	0	0	0
...	0	0	1	1	1	0	0	0	0
18:00	0	0	0	0	0	0	0	0	1
19:00	0	0	0	0	0	1	0	1	0
20:00	0	0	0	0	0	0	0	1	1
21:00	0	0	0	0	0	1	0	0	1
22:00	0	0	0	0	0	1	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Agentes	27	189	127	32	41	48	110	8	32

## 4. CONCLUSIONES

La importancia de tener una metodología estadística bien elaborada a la hora de realizar pronósticos, conlleva un mayor control de los procesos y a generar estrategias encaminadas a la optimización del mismo. En este caso, se logró construir una metodología integrada que incluye la rigurosidad estadística, pero que es lo suficientemente flexible, para incluir el valioso conocimiento empírico de los colaboradores del centro de contacto. Sin duda, cada uno de los procedimientos incluidos aumenta la confiabilidad en las estimaciones, dimensionamiento y programación de las mallas de turno; además se demostró que a través de la metodología propuesta, se reducen los costos operativos sin sacrificar ningún indicador ni la satisfacción del cliente.

Las metodologías tradicionalmente usadas y que hacen referencia a los métodos *Erlang*, parten del hecho de que el arribo de llamadas sigue un proceso *Poisson*, es decir, que el arribo de llamadas es constante para todos los intervalos de tiempo definidos, hecho que no es correcto dado que el número de llamadas varía a medida que transcurre el tiempo. Esta variabilidad es innegable y pone en entre dicho los resultados y estimaciones a partir de las calculadoras *Erlang*.

Se demostró que el tratamiento de los diferentes procesos a cargo del centro de contacto no se puede estandarizar, es decir, cada uno tiene un tipo de tráfico diferente que es afectado por eventos planeados o aleatorios propios de cada operación y es donde el componente flexible de la metodología propuesta,

permite que se realicen las estimaciones pertinentes por cada proceso incluyendo los factores de variación que afecten significativamente dichos procesos.

Después de revisar la literatura actualizada de investigación en el sector de los centros de contacto y de revisar el marco teórico que permite la aplicación de estas metodologías tradicionales y emergentes, se plantea el uso integrado de una serie de herramientas estadísticas que combinadas logran que se llegue a un excelente resultado. El uso de series temporales produce estimaciones más cercanas a la realidad del número de llamadas ofrecidas porque hace los pronósticos, teniendo en cuenta el historial de llamadas ofrecidas y se va retroalimentando a medida que el historial de llamadas crece. Además, la distribución intra-día se basa en el comportamiento histórico de los datos, lo que reduce los errores humanos y de cálculo produciendo proyecciones del tráfico de llamadas más certeras. La optimización de los recursos y de la programación de los turnos es fundamental para reducir costos operativos y para garantizar los niveles de servicio esperados.

La comparación concienzuda e imparcial de la metodología propuesta versus la de los aliados, permite ver la superioridad en cada uno de los pasos comprendidos en el proceso *Workforce*. Las proyecciones de la cantidad de llamadas es más cercana a la cantidad de llamadas entrantes real y la distribución intra-día, construida a partir de los datos, fue más acertada. De igual manera, el dimensionamiento de agentes fue menor a la de los aliados manteniendo los niveles de servicio exigidos y finalmente, se logró construir una malla de turnos óptima que, comparada con la de los aliados, es superior porque en ellos su construcción es meramente subjetiva.

El hecho de segmentar la población de agentes, permitió conocer los factores que pueden estar afectando su desempeño, como su nivel educativo o años de experiencia, etc., influyen en el TPC. Además, el hecho de realizar dimensionamientos para cada grupo de agentes, reduce los posibles sesgos que implica el uso de tiempos promedio de conversación, pues es conocido que este tiempo no es similar entre agentes y entre procesos del centro de contacto. Además,

como plus de este paso en la metodología, mediante el análisis de las variables socio-demográficas de los agentes se pueden detectar comportamientos atípicos en los tiempos de duración de las llamadas y dado el desempeño de los mismos se pueden conocer características deseables en nuevas contrataciones.

El tiempo promedio de conversación es una de las principales características utilizadas tradicionalmente para adelantar estimaciones y proyecciones en el proceso de los centros de contacto. Insistimos que el hecho de dimensionar todos los procesos y a todas las personas, teniendo en cuenta el valor, es erróneo porque claramente los TPC son diferentes dependiendo de la naturaleza de la operación de centro de contacto y como se demostró dependiendo de algunas características propias de los agentes. De igual manera, uno de los supuestos teóricos que utilizan las calculadoras *Erlang* y por ende, la mayoría de empresas que presentan servicios de *Workforce*, es que las llamadas de los clientes entran al centro de contacto de una manera uniforme en los intervalos de tiempo; este hecho es falso, lo que pone en entre dicho las conclusiones a partir de estas metodologías y obliga a que este tipo de metodologías sea fortalecida y complementada, pero por sí sola, como indican muchos autores, puede estar llevando a la industria de los centros de contacto a un desgaste en personal y recursos.

Puede decirse que esta metodología propuesta es pionera en entregar al centro de contacto una potente y óptima herramienta de programación de turnos, que no dependa de la subjetividad del analista *Workforce*. La metodología realmente posee sustento estadístico en cada paso, como este documento pretende demostrarlo.

Algunas de las empresas que ofrecen servicios de planeación de *Workforce*, se limitan a eliminar datos atípicos para no afectar los pronósticos, este hecho es incorrecto porque no solamente deben detectarse los datos atípicos, sino que debe hacerse un seguimiento a los mismos para determinar efectivamente el por qué de su presencia y determinar la verdadera afectación de los mismos sobre las estimaciones futuras. Los datos atípicos pueden ser información valiosa.

Finalmente, cabe destacar la transparencia de la metodología. Es fundamental poder dar a conocer cada una de las herramientas estadísticas utilizadas y la manera de integrarlas, para garantizar que se

habla de hallazgos y propuestas sustentables teórica y matemáticamente, pero al mismo tiempo construidas a partir de las necesidades de los centros de contacto. No hay cajas negras, todo está claro y es lo suficientemente flexible para incluir el valioso conocimiento empírico de los trabajadores del centro de contacto.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. Watson G. Mulvey P. Taylor G. Gall. Bain, P. T. (2002). *Taylorism, targets and the pursuit of quantity and quality by call center management*. New Technology, Work and Employment, 170-185.
- Abraham, B. a. (1983). *Statistical methods for forecasting*. Wiley.
- Abraham, B., & Ledolter, J. (1983). *Statistical methods for forecasting*. Wiley series in probability and mathematical statistics: Applied probability and statistics.
- Ahn, H.-S. a. (2005). *Staffing decisions for heterogeneous workers with turnover*. Mathematica methods of operations research, 62, 499-514.
- Akaike. , H. (1973). *Maximum likelihood identification of gaussian auto-regressive moving-average models*. Biometrika, 60, 255-266.
- Akaike., H. (1974). *A new look at the statistical model identification*. IEEE Transactions on Automatic Control, 19, 716-723.
- Aksin, O. Z. (2007). *A review of workforce cross-training in call centers from an operations management perspective*. In Workforce Cross Training Handbook, 665-688.
- Aksin, O. Z. (2007). *A review of workforce cross-training in call centers from an operations management perspective*. Nembhard: In Workforce Cross Training Handbook.
- Aksin, Z. a. (2007). *The Modern Call Center: A Multidisciplinary perspective on Operation Managenment Research*. Production and Operations Management, 665-688.
- Albizuri Irigoyen, F. X. (2004). La formula de erlang y el análisis de redes de comunicaciones. Sigma: revista de matemáticas = matematika aldizkaria, 25, 166-185.
- Albizuri Irigoyen, F. X. (2004). *La formula de Erlang y el análisis de redes de comunicaciones*. Sigma: revista de matemáticas, 166-185.

- Alexandre, D. a. (2007). *Markov chain models of a telephone call center with call blending*. Computers and Operations Research.
- Andersen, T. G. (2006). *Volatility forecasting*. Handbook of Economic Forecasting.
- Anderson, T. (1994). *The Statistical Analysis of Time Series*. Wiley.
- Andrews, B. a. (1995). *Bean improves call-center forecasting*. Interfaces, 25, 1-13.
- Anindya, J. D. (1993). *Co-Integration, Error Correction and the Econometric Analysis of Non-Stationary Data*. Oxford: Oxford University Press on Demand.
- Armony, M. a. (2004). *Contact centers with a call-back option and realtime delay information*.
- Aykin, T. (1996). *Optimal shift scheduling with multiple break windows*. Management Science, 42, 591-602.
- Bassamboo, A. a. (2005). *Dynamic routing and admission control in high-volume service systems: Asymptotic analysis via multi-scale uid limits*. Queueing Syst. Theory Appl, 51, 249-285.
- Bassamboo, A. M. (2006). *Design and control of a large call center: Asymptotic analysis of an lp-based method*. Oper. Res, 54, 419-435.
- Becerra, D. (2010). *Apuntes de Estadística*. Vina del Mar: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Becerra, D. (2010). *Apuntes de estadística, Technical report*. Vina del Mar: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Bhandari, A. a.-W.-B. (2008). *An exact and efficient algorithm for the constrained dynamic operator sta\_ng problem for call centers*. Manage Science, 54, 339-353.
- Bhaskar, V. (2008). *A closed queueing network model with multiple servers for multithreaded architecture*. Comput. Commun, 31, 3078 -3089.
- Bordoloi, S. K. (2004). *Agent recruitment planning in knowledge, intensive call centers*. Journal of Service Research.
- Brase, C. a. (2011). *Understandable Statistics: Concepts and Methods*. BROOKS COLE Publishing Company.
- Brase, C. a. (n.d.). *Understandable Statistics: Concepts and Methods*. 2011: BROOKS COLE Publishing Company.
- Brown, L. a. (2002). *Statistical Analysis of a Telephone Call Center: A Queueing-Science Perspective*. Philadelphia, USA: Department of Statistics, The Wharton School, University of Pennsylvania.
- Buffa, E. S. (1982). *Dirección de operaciones: Problemas y modelos*. Limusa.
- Canon, C. a.-C.-L. (2005). *Dimensioning an inbound call center using constraint programming*. Principles and Practice of Constraint Programming.



- Cipra, T. (1992). *Robust exponential smoothing*. Journal of Forecasting, 11, 57 - 69.
- Cundinamarca, A. d. (2007). Invest-In-Bogotá.
- Dantzig, G. B. (1954). *A comment on Edie's "traffic delays at toll booths"*.
- Datamonitor. (2004). *Call center outsourcing in latin america and the caribbean to 2008. Identifying outsourcing opportunities in the world's fastest growing call center region*. Datamonitor.
- Delicado, P. (2008). *Curso de modelos no paramétricos*. Catalunya: Technical report, Departament d'Estadística i Investigació Operativa, Universitat Politècnica de Catalunya.
- Delicado, P. (2008). *Curso de Modelos no Paramétricos*. Catalunya: Departament Estadística i Investigació Operativa, Universitat Politècnica de Catalunya.
- Dellaportes, P. a. (1993). *Bayesian inference for generalized linear and proportional hazards models via gibbs sampling*. Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics), 42(3), 443-459.
- Deslauriers Alexandre, L. a. (2007). *Markov chain models of a telephone call center with call blending*. Computers and Operations Research, 29.
- Deslauriers, A. A. (2004). *Modeling daily arrivals to a telephone call center*. Management Science, 50, 896 -908.
- Dombacher, C. a. (2010). *Queueing models for call centers and nikolaus lenaugasse*.
- Feinberg, R. a. (2011). *Sostenibilidad y call centers en américa latina*. Santiago de Chile: Technical report, Red Forum Empresa.
- Feinberg, R. a. (2011, 07). *Sostenibilidad y Call Centers en América Latina*. Retrieved from Red Forum Empresa.
- Feng, H. a. (2007). *Load shedding and distributed resource control of stream processing networks*. Perform. Eval, 4, 1102-1120.
- Fix, E. a. (1951). *An important contribution to nonparametric discriminant analysis and density estimation*. Manufacturing & Service Operations Management, 57(3), 233-238.
- Fornell, C. a. (2009). *Commentary the economic and statistical significance of stock returns on customer satisfaction*. Marketing Science, 28(5), 820-825.
- Galipienso, M. (2001). *Un modelo de integración de técnicas de CLAUSURA y CSP de restricciones temporales: Aplicación a problemas de Scheduling*. Universidad de Alicante, departamento de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial.
- Galipienso, M. a. (n.d.). *Un modelo de integración de técnicas de CLAUSURA y CSP de restricciones temporales: Aplicación a problemas de Scheduling*. Universidad de Alicante. Departamento de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial.

- Gans, N. a. (2002). *Managing learning and turnover in employee staffing*. Operations Research, 50(6), 991-1006.
- Gans, N. a. (2003). *Telephone call centers: Tutorial, review, and research prospects*. Manufacturing and Service Operations Management, 79--141.
- Gans, N., Koole, G., & Mandelbaum, A. (2003). *Telephone call centers: Tutorial, review, and research prospects*. Manufacturing and Service Operations Management, 5, 79-141.
- Grassmann, W. K. (1988). *Finding the right number of servers in real-world systems*. Interfaces, 18, 94-104.
- Hannah, D. R. (2005). *Should i keep a secret? the effects of trade secret protection procedures on employees' obligations to protect trade secrets*. Organization Science, 16(1), 71-84.
- Harker, O. a. (2003). *Capacity sizing in the presence of a common shared resource: Dimensioning an inbound call center*. European Journal of Operational Research, 147, 464-483.
- I., I. i. (2010). *Sectores offshore contact center*.
- Iannoni, A. P. (2007). *A multiple dispatch and partial backup hypercube queuing model to analyze emergency medical systems on highways*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Elsevier, 34(6), 755 - 771.
- Ingolfsson, A. a. (2002). *Accounting for time-varying queueing effects in workforce scheduling*. European Journal of Operational Research, 139(3), 585 - 597.
- Ingolfsson, A. a. (2003). *Combining integer programming and the randomization method to schedule employees*.
- Ingolfsson, A. a. (2010). *Combining integer programming and the randomization method to schedule employees*. European Journal of Operational Research, 202(1), 153-163.
- Irigoyen, A. F. (2004). *La formula de erlang y el análisis de redes de comunicaciones*. Sigma: revista de matemáticas = matematika aldizkaria, 25, 166-185.
- Jungmok, M. a. (2011). *Performance assessment in an interactive call center workforce simulation*. Simulation Modelling Practice and Theory, 1, 227 - 238.
- Karaesmen, O. Z. (2007). *Characterizing the performance of process flexibility structures*. Operations Research Letters, 35, 477 - 484.
- Kebli, M. F. (2006). *Improving customer service operations at amazon.com*. Interfaces, 36(5), 433-445.
- Koole, G. (2010). *Optimization of business processes an introduction to applied stochastic modeling*. Amsterdam Holand: Department of Mathematics University Amsterdam.
- Koole, G. (2010). *Optimization of Business Processes An Introduction to Applied Stochastic Modeling*.
- Koole, G. (2013). *Call Center Optimization*. MG books, Amsterdam.

- Koole, G. a. (2002). *Queueing models of call centers: An introduction*. Annals of Operations Research.
- Lawrence Brown, N. G. (2002). *Statistical analysis of a telephone call center: A queueing-science perspective*. Technical report, Department of Statistics, Philadelphia, USA: The Wharton School, University of Pennsylvania.
- L'Ecuyer, P. (2006). *Modeling and optimization problems in contact centers in proceedings of the third international conference on the quantitative evaluation of systems*. IEEE Computing Society, 145-154.
- Liu, Z. a. (2009). *A decentralized control mechanism for stream processing networks*. Annals OR, 170(1), 161-182.
- Mandelbaum, A. (2006). *Call centers (centres), research bibliography with abstracts*. Haifa, Israel: Israel Institute of Technology.
- Mandelbaum, A. (2006). *CALL CENTERS (CENTRES), Research Bibliography with Abstracts*. Haifa 32000, Israel: Israel Institute of Technology.
- Mandelbaum, A. (2000). *A model for rational abandonments from invisible*. Queues.
- Mode, E. (1990). *Elementos de probabilidad y estadística*. Reverté Mexicana.
- Namakforoosh, M. N. (1996). *Investigación de Operaciones*. México D.F.
- Novethic. (2005). *Les syndicats font pression sur les call center*.
- Ormezi, E. L. (2004). *Revenue management through dynamic cross-selling in call centers*.
- Pot, A. a. (2007). *A simple staffing method for multi-skill call centers*. Manufacturing and Service Operations Management.
- Prawda Witenberg, J. (2000). *Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones*. México D.F.
- Robbins, T. R. (2010). *A stochastic programming model for scheduling call centers with global service level agreements*. European Journal of Operational Research, 207(3), 1608-1619.
- Ross, S. M. (1995). *Stochastic Processes*. 01: Wiley.
- Ryder, G. S. (2008). *Optimal service policies under learning effects*. International Journal of Services and Operations Management, 4.
- Salzman, H. a. (2004). *Under construction, the continuing evolution of job structures in call centers*.
- Shavandi, H. a. (2006). *A fuzzy queueing location model with a genetic algorithm for congested systems*. Applied Mathematics and Computation, 181.
- Shen, H. a. (2008). *Interday forecasting and intraday updating of call center arrivals*. Manufacturing & Service Operations Management, 10(3), 391-410.

- Shimkin, N. a. (2004). *Rational abandonment from tele-queues: Nonlinear waiting costs with heterogeneous preferences*. Queueing Syst. Theory Appl, 47, 117-146.
- Shumsky, R. A. (2003). *Gatekeepers and referrals in services*. Manage Science, 49(7), 839-856.
- Soyer, R. a. (2008). *Modeling and analysis of call center arrival data: A Bayesian approach*. Manage Science, 54(2), 266-278.
- Taylor, J. (2003). *Short-term electricity demand forecasting using double seasonal exponential smoothing*.
- Taylor, J. W. (2008). *A comparison of univariate time series methods for forecasting intraday arrivals at a call center*. Manage Science, 54(2), 253-265.
- Telemarketing, I. I. (2005). *Contact Forum*.
- Thirión, J. M. (2004). *Los call centers y los nuevos trabajos del siglo XXI*.
- Tseng, F.-M. a.-H. (n.d.). *A fuzzy seasonal arima model for forecasting*. Fuzzy Sets Syst, 126, 367–376.
- Wallace, R. B. (2005). *A staffing algorithm for call centers with skill-based routing*. Manufacturing & Service Operations Management, 7(4), 276-294.
- Webster, A. (2000). *Estadística aplicada a los negocios y la economía*. McGraw-Hill.
- Weinberg, J. a. (2007). *Bayesian forecasting of an inhomogeneous poisson process with applications to call center data. to appear*. Journal of the American Statistical Association.
- Whitt, W. (1999). *Improving service by informing customers about anticipated delays*. Management Science, 45, 192-207.
- Wlodek, T. a. (2002). *An unobserved component model for multi-rate forecasting of telephone call demand: the design of a forecasting support system*. International Journal of Forecasting, 18(4), 673-695.
- Zeynep, A. a. (2007). *The modern call center: A multidisciplinary perspective on operation management research*. Production and Operations Management, 16, 665–688.