



ugr

Universidad
de Granada

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA APLICADA

Tesis doctoral

**ANÁLISIS, PRONÓSTICO DE LA DEMANDA Y
NECESIDADES DE PERSONAL EN UN *CALL CENTER* DE
EMERGENCIAS SANITARIAS**

Doctorando

José Díaz Hierro

Directores de la tesis

José Jesús Martín Martín

María del Puerto López del Amo González

Editor: Editorial de la Universidad de Granada
Autor: José Díaz Hierro
D.L.: GR 2011-2014
ISBN: 978-84-9083-202-8



ugr

Universidad
de Granada

ANÁLISIS, PRONÓSTICO DE LA DEMANDA Y NECESIDADES DE PERSONAL EN UN *CALL CENTER* DE EMERGENCIAS SANITARIAS

Tesis Doctoral que presenta el doctorando José Díaz Hierro para la
obtención del grado de Doctor por la Universidad de Granada

Julio 2014

EL DOCTORANDO

José Díaz Hierro

Licenciado en Ciencias Económicas y Empresariales

Máster en Economía de la Salud y Dirección de Organizaciones Sanitarias
por la Universidad de Granada.

LOS DIRECTORES DE LA TESIS

Prof. Dr. José Jesús Martín Martín

Profesor Titular del Departamento de Economía Aplicada

Universidad de Granada

Prof. Dr. María del Puerto López del Amo González

Profesora Contratada Doctora del Departamento de Economía Aplicada

Universidad de Granada

ÍNDICE

Agradecimientos.....	1
Resumen	3
Introducción.....	23
Capítulo 1.- La prestación de servicio del <i>call center</i> de emergencias sanitarias	31
Introducción.....	33
1.1.- Proceso operativo del <i>call center</i> en la Empresa Pública de Emergencias sanitarias	36
1.1.1.- Servicios del <i>Call Center</i> de Emergencias Sanitarias	37
1.1.2.- Clientes del <i>Call Center</i> de Emergencias Sanitarias	38
1.1.3.- Medios del <i>Call Center</i> de Emergencias Sanitarias	39
1.1.4.- Recursos del <i>Call Center</i> de Emergencias Sanitarias	39
1.2.- Análisis descriptivo de la gestión de la demanda en el <i>Call Center</i> de emergencias sanitarias	44
1.2.1.- Llamadas recibidas en el Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias, 2004 a 2007.	44
1.2.2.- Llamadas perdidas o abandonadas en el Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias, 2004 a 2007.	49
1.2.3.- Tiempos de respuesta en el Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias, 2004 a 2007.	51
1.2.4.- Tiempos de servicio o atención en el Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Málaga, 2004 a 2007.	53
1.2.5.- Relaciones entre llamadas recibidas, escuchas, transferencias, llamadas emitidas y demandas asistenciales en el Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias, 2004 a 2007.	55
1.3.- Conclusiones	59
Capítulo 2.- Análisis de las llamadas perdidas o abandonadas del <i>call center</i> de emergencias sanitarias	63
Introducción y Antecedentes	65
2.1.- Metodología	68
2.1.1.- Análisis de Supervivencia para la atención de llamadas en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias.	70
2.1.1.1.- Análisis no paramétrico de supervivencia para la atención de llamadas en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias mediante el estimador de Kaplan-Meier.	70
2.1.1.2.- Análisis Semiparamétrico de supervivencia para la atención de llamadas en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias mediante la regresión de Cox.....	71
2.1.1.3.- Modelos Paramétricos de supervivencia para la atención de llamadas en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias	73
2.1.1.4.- Splines para el ajuste del estimador Kaplan-Meier.....	75
2.1.2.- Pronóstico de llamadas perdidas.	77
2.1.2.1.- Análisis de Componentes Principales	77
2.1.2.2.- Análisis Cluster Jerárquico.....	78
2.1.2.3.- Regresión lineal múltiple	79
2.1.2.4.- Modelos Lineales Generalizados	80

2.1.3.- Clasificación de llamadas: Red Neuronal	84
2.2.- Resultados	90
2.2.1.- Análisis de Supervivencia para analizar la pérdida de llamadas en el Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias durante 2007.	91
2.2.1.1.- Estimación no paramétrica de la probabilidad de pérdida de una llamada al Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias durante 2007 mediante el estimador de Kaplan-Meier.....	91
2.2.1.2.- Estimación Semiparamétrica de la probabilidad de pérdida de una llamada al Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias durante 2007 mediante la Regresión de Cox.....	95
2.2.1.3.- Estimación paramétrica de la probabilidad de pérdida de una llamada al Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias durante 2007.	99
2.2.1.4 Splines: Regresión Cúbica.....	102
2.2.1.5.- Visión conjunta del análisis de las llamadas perdidas en el Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias durante 2007	102
2.2.2.- Pronóstico de llamadas perdidas por franja horaria y mes para el Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias durante 2007.	103
2.2.2.1.- Análisis de Componentes Principales	103
2.2.2.2.- Análisis Cluster Jerárquico.....	104
2.2.2.3.- Regresión lineal múltiple para el análisis de las llamadas perdidas por franja horaria y mes.	106
2.2.2.4.- Modelos Lineales Generalizados para la estimación de las llamadas perdidas por franja horaria y mes en el Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007	107
2.2.3.- Clasificación de llamadas en atendida o perdida mediante análisis discriminante, regresión logística binaria y modelos de red neuronal.	110
2.3.- Discusión y conclusiones	115
Capítulo 3.- Pronóstico de demanda de llamadas de emergencias sanitarias del <i>call center</i> del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.....	121
Introducción.....	122
3.1 Antecedentes.....	124
3.2 Metodología.....	126
3.2.1 Modelos clásicos de descomposición.....	127
3.2.2 Modelo de alisado de Winters.	129
3.2.3 Modelos econométricos.....	130
3.3.- Resultados y Comparación de modelos	133
3.3.1.- Modelos clásicos de descomposición.....	135
3.3.2.- Modelo de alisado de Winters.....	137
3.3.3.- Modelos econométricos.....	138
3.3.4 Modelo de proyección enfocada de EPES.....	144
3.3.5 Comparación de Modelos.....	145
3.4 Conclusiones.....	147
Capítulo 4: Planificación de las necesidades de personal del <i>call center</i> del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.....	151
Introducción y Antecedentes	153

4.1	Introducción a la Teoría de Colas.....	154
4.2	Identificación de estados estacionarios.....	156
4.2.1	Test de homogeneidad de Kruskal-Wallis.....	157
4.2.2	Análisis Discriminante	157
4.2.3	Test no paramétrico de adherencia de Kolmogorov-Smirnov.....	159
4.3	Modelos de colas para la planificación de las necesidades de personal.....	160
4.3.1	Modelo M/M/S	160
4.3.2	Modelo M/M/S+k.....	162
4.3.3	Otros modelos de colas para la planificación de las necesidades de personal	163
4.3.4	Red de colas.....	163
4.4	Resultados.....	167
4.4.1	Modelo M/M/S	171
4.4.1.1	Plantilla óptima de Teleoperadores según el modelo M/M/S.....	171
4.4.1.2	Plantilla óptima de Médicos Coordinadores según el modelo M/M/S.....	176
4.4.2	Modelo M/M/S+k.....	180
4.4.2.1	Plantilla óptima de Teleoperadores según el modelo M/M/S+k.....	181
4.4.2.2	Plantilla óptima de Médicos Coordinadores según el modelo M/M/S+k.	183
4.4.3	Red de Colas para el dimensionamiento óptimo de la plantilla del Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga. 2007.....	185
4.5	Conclusiones.....	187
Capítulo 5.- Optimización de la plantilla del <i>call center</i> del Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.		191
Introducción y Antecedentes		193
5.1.- Metodología		195
5.1.1.	Las restricciones para la formulación de un problema de programación lineal para la optimización de la plantilla de Teleoperadores y Operadores de radio.	197
5.1.2.	Las restricciones para la formulación de un problema de programación lineal para la Optimización de la plantilla de Médico Coordinador.....	199
5.2	Resultados.....	199
5.2.1.	Optimización de Teleoperadores y Operadores de radio en el Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.	199
5.2.2.	Optimización de plantilla de Médico Coordinador en el Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.	205
5.3	Conclusiones.....	207
Conclusiones.....		211
Bibliografía.....		225
Anexos.....		233
Anexo I.- Evaluación de modelos de series temporales para la previsión de la demanda de emergencias sanitarias.		236
Anexo II. Diagrama de bloques funcional.....		249
Anexo III. Proporción de llamadas recibidas por línea y franja horaria en 2007.....		251
Anexo IV. Tiempos medios de servicio por franja y mes para las líneas 061, Servicio de urgencias y Transporte.....		253
Anexo V: Llamadas emitidas por franja y mes en 2007, y tiempos de ocupación de las llamadas emitidas con igual desglose.....		255
Anexo VI: Pesos sinápticos o estimaciones de los coeficientes de la red neuronal perceptrón multicapa.		257
Anexo VII: Llamadas, casos de gripe, pernотaciones y población. Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias. 2004 a 2007.....		259

Anexo VIII: Resultados del test de Dickey-Fuller aumentado y test de causalidad de Granger	261
Anexo IX: Pruebas de especificación del modelo estructural de pronóstico	263
Anexo X: Fórmulas básicas del modelo M/M/S.	265
Anexo XI: Fórmulas básicas del modelo M/M/S+K.	267
Anexo XII: Fórmulas básicas del modelo de red de Jackson abierta	269
Anexo XIII: Diferencias mensuales entre la programación real, necesidades de plantilla y modelo de programación lineal.	270

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Objetivo de la tesis	27
Tabla 1.1: Líneas contratadas por tipo de llamada en función de la demanda prevista. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.....	40
Tabla 1.2: Número medio de teleoperadores por franja horaria y mes. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía, 2007.....	42
Tabla 1.3: Número medio de profesionales por franja horaria y mes. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía, 2007.....	43
Tabla 1.4: Llamadas recibidas en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Andalucía por tipo de línea y año. 2004 a 2007.	45
Tabla 1.5: Llamadas recibidas promedio en 2007 por día, hora y mes en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga.....	48
Tabla 1.6: Llamadas perdidas en 2007 por tipo de línea en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga.....	50
Tabla 1.7: Llamadas perdidas en 2007 por tiempo de espera en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga.....	51
Tabla 1.8: Tiempos de respuesta en 2007 en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga.....	53
Tabla 1.9: Tiempos de atención por franja y mes (en segundos) en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007.	55
Tabla 1.10: Relaciones entre las operaciones del <i>call center</i> en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007.	56
Tabla 1.11: Desglose de llamadas por tipo de demanda en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007.	57
Tabla 1.12: Relación entre demandas y llamadas por tipo de línea en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007.....	57
Tabla 2.1: Función de enlace, varianza y deviance de los modelos lineales generalizados más habituales.....	81
Tabla 2.2: Funciones de activación usuales para una Red Neuronal.....	86
Tabla 2.3: Resumen de casos procesados para el cálculo de supervivencia acumulada en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	91
Tabla 2.4: Medias y medianas de los tiempos de supervivencia de las llamadas perdidas en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	92
Tabla 2.5: Pruebas de igualdad de supervivencia acumulada por tipo de líneas en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	94
Tabla 2.6: Estimaciones de los coeficientes de la Regresión de Cox de la función de supervivencia acumulada en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	98

Tabla 2.7: Bondad del ajuste de la función de supervivencia acumulada (modelos paramétricos) en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	99
Tabla 2.8: Estimación de los coeficientes de la función de supervivencia acumulada (Modelo de Tiempo de Fallo Acelerado) en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	101
Tabla 2.9: Estimación de los coeficientes de la función de supervivencia acumulada (Modelo de Splines) en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	102
Tabla 2.10: Resultados de los estadísticos Kaiser-Meyer-Olkin y esfericidad de Bartlett en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	103
Tabla 2.11: Varianza explicada por los componentes del análisis de componentes principales en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	104
Tabla 2.12: Matriz de componentes rotados del análisis de componentes principales en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	104
Tabla 2.13: Estimación de los coeficientes de la regresión lineal múltiple stepwise en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	106
Tabla 2.14: Capacidad predictiva y bondad del ajuste de las regresiones de los modelos lineales generalizados sin considerar franja y mes en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	107
Tabla 2.15: Capacidad predictiva y bondad del ajuste de las regresiones de los modelos lineales generalizados considerando franja y mes en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	108
Tabla 2.16: Estimaciones de los coeficientes de las regresiones de los modelos lineales generalizados considerando franja y mes, en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	108
Tabla 2.17: Identificación de los modelos lineales generalizados de mejor capacidad predictiva según el criterio “menor error cuadrático medio” por franja y mes en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	109
Tabla 2.18: Identificación de los modelos lineales generalizados de mejor capacidad predictiva según el criterio “menor error absoluto porcentual medio” por franja y mes en el <i>call center</i> de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007..	110
Tabla 2.19: Porcentaje de acierto de los modelos de clasificación de llamadas en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	112
Tabla 2.20: Importancia relativa de las variables en los modelos de redes neuronales de clasificación de llamadas en el <i>call center</i> de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	112
Tabla 2.21: Coeficientes de la función de clasificación del análisis discriminante en los modelos de clasificación de llamadas en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	112
Tabla 2.22: Prueba de Hosmer y Lemeshow para la regresión logística binaria en los modelos de clasificación de llamadas en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	113

Tabla 2.23: Estimaciones de los coeficientes, por tipo de línea, de la regresión logística binaria en los modelos de clasificación de llamadas en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	113
Tabla 2.24: Área bajo la curva COR de los modelos de clasificación de llamadas en el <i>call center</i> de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	113
Tabla 2.25: Medidas de bondad de los modelos de clasificación de llamadas en el <i>call center</i> de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	114
Tabla 3.1: Antecedentes más relevantes sobre pronóstico de llamadas en <i>call center</i> .	124
Tabla 3.2: Test y pruebas realizadas a los modelos de pronóstico de llamadas del <i>call center</i> de emergencias sanitarias.....	132
Tabla 3.3: Índices de variación estacional de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el período 2004-2007 mediante el modelo Método X-11 de desestacionalización.	136
Tabla 3.4: Parámetros en la estimación de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el período 2004-2007 mediante el método de descomposición con alisado aditivo de triple parámetro de Winters	137
Tabla 3.5: Parámetros en la estimación de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el período 2004-2007 mediante el método econométrico ARIMA con los meses estivales como análisis de intervención	139
Tabla 3.6: Parámetros en la estimación de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el período 2004-2007 mediante el método econométrico ARIMA con la gripe como función de transferencia	141
Tabla 3.7: Estimación de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el período 2004-2007 mediante el método habitual de proyección enfocada	145
Tabla 3.8: Estimación de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el período 2004-2007 mediante modelos de series temporales.	146
Tabla 4.1: Autovalores y varianza explicada por las funciones discriminantes en las llamadas recibidas en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	168
Tabla 4.2: Valor de las funciones en los centroides de los grupos (franja) del análisis discriminante de las llamadas recibidas en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	168
Tabla 4.3: Coeficientes de las funciones discriminantes canónicas del análisis discriminante de las llamadas recibidas en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	169
Tabla 4.4: Matriz de estructura del análisis discriminante de las llamadas recibidas en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	170
Tabla 4.5: Matriz de confusión del análisis discriminante de las llamadas recibidas en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	170
Tabla 4.6: Necesidades de Teleoperador según el modelo de colas M/M/S en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	171
Tabla 4.7: Diferencias de necesidades de Teleoperador por M/M/S comparado con la programación observada en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	172
Tabla 4.8: <i>Average Speed of Answer</i> medio Teleoperador con M/M/S en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	174
Tabla 4.9: Porcentaje de ocupación de Teleoperador con M/M/S en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	174

Tabla 4.10: Llamadas en tiempo objetivo de Teleoperador con M/M/S en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	175
Tabla 4.11: Variación potencial de necesidades de Operadores con polivalencia total con M/M/S en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	176
Tabla 4.12: Necesidades de Médico Coordinador con M/M/S en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	177
Tabla 4.13: Diferencias de necesidades de Médico Coordinador por M/M/S comparado con la programación observada en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	178
Tabla 4.14: <i>Average Speed of Answer</i> medio Médico Coordinador con M/M/S en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	179
Tabla 4.15: Porcentaje de ocupación de Médico Coordinador con M/M/S en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	179
Tabla 4.16: Llamadas en tiempo objetivo de Médico Coordinador con M/M/S en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	180
Tabla 4.17: Prueba de Kolmogorov-Smirnov de la función de riesgo para Llamadas perdidas hasta 49 segundos en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	180
Tabla 4.18: Porcentaje de ocupación de Teleoperador con M/M/S+k en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	181
Tabla 4.19: Porcentaje de llamadas en tiempo objetivo de Teleoperador con M/M/S+k en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	182
Tabla 4.20: Porcentaje de llamadas perdidas de Teleoperador con M/M/S+k en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	182
Tabla 4.21: Porcentaje de ocupación de Médico Coordinador con M/M/S+k en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	183
Tabla 4.22: Porcentaje de escuchas en tiempo objetivo de Médico Coordinador con M/M/S+k en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	184
Tabla 4.23: Porcentaje de escuchas perdidas de Médico Coordinador con M/M/S+k en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	184
Tabla 4.24: Diferencias en ocupación de los profesionales entre modelos de colas y la red de colas en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	187
Tabla 5.1: Aspecto parcial de las restricciones para la optimización de teleoperadores y operadores de radio en una modalidad de turnos de 4 horas.	198
Tabla 5.2: Puestos de teleoperador y operador de radio por franja horaria y mes calculados mediante el modelo de programación lineal para el <i>Call Center</i> del Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.	200
Tabla 5.3: Diferencias en el número de puestos de Teleoperador y Operador de Radio entre el modelo de programación lineal y el modelo de colas.....	201
Tabla 5.4: Modalidades de turnos de Teleoperadores y Operadores de Radio según el modelo de programación lineal entera.....	204
Tabla 5.5: Modalidades de turnos más frecuentes en Teleoperadores y Operadores de Radio.....	205
Tabla 5.6: Modalidades de turnos más frecuentes en la optimización de la plantilla de Médicos coordinadores en el Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.....	206

Tabla 5.7: Solución de marzo a la programación de turnos para la optimización de la plantilla de Médicos coordinadores en el Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.....	207
--	-----

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Flujo de operaciones de un <i>call center</i> de emergencias sanitarias.....	24
Gráfico 2: Modelo de planificación de un <i>call center</i>	25
Gráfico 1.1: Fases del proceso clave: Asistencia Sanitaria.....	35
Gráfico 1.2: El <i>call center</i> de emergencias sanitarias desde las perspectivas de servicios, clientes, medios y recursos.....	37
Gráfico 1.3: Operativa del Servicio Provincial de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en Andalucía.....	44
Gráfico 1.4: Tendencia de la serie temporal de llamadas recibidas en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga. 2004 a 2007.....	46
Gráfico 1.5: Distribución en franjas horarias de las llamadas recibidas en el Servicio Provincial de Málaga durante 2007.....	46
Gráfico 1.6: Perfil semanal de llamadas recibidas por hora en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007.....	49
Gráfico 1.7: Llamadas perdidas por hora y mes en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007.....	50
Gráfico 1.8: Tiempos de respuesta por hora y mes (en segundos) en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007.....	51
Gráfico 1.9: Tiempos de respuesta por tipo de línea (en segundos) en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007.....	52
Gráfico 1.10: Tiempos de atención por mes y franja (en segundos) en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007.....	54
Gráfico 1.11: Tiempos de atención por tipo de línea (en segundos) en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007.....	54
Gráfico 1.12: Media de llamadas emitidas (salientes) por franja en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007.....	58
Gráfico 1.13: Tiempo medio en segundos de llamadas emitidas (salientes) por franja en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007.....	59
Gráfico 2.1: Representación de una neurona.....	84
Gráfico 2.2: Neurona tipo McCulloch-Pitts.....	85
Gráfico 2.3: Arquitectura de un Perceptrón Multicapa.....	87
Gráfico 2.4: Función de transferencia tipo sigmoideo en una red neuronal.....	88
Gráfico 2.5: Arquitectura de una Red de Base Radial.....	89
Gráfico 2.6: Función de transferencia tipo Gaussiana en una red neuronal.....	89
Gráfico 2.7: Funciones de supervivencia acumulada (Kaplan-Meier) por tipos de línea en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	93
Gráfico 2.8: Funciones de Impacto acumulada (Kaplan-Meier) por tipos de línea en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	94
Gráfico 2.9: Funciones de Supervivencia e Impacto acumulada (Kaplan-Meier) para el global de líneas en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	95

Gráfico 2.10: Funciones de log menos log (Kaplan-Meier) por tipos de líneas en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	96
Gráfico 2.11: Funciones de Supervivencia e Impacto en media de covariables (Regresión de Cox) para el global de líneas en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	97
Gráfico 2.12: Funciones de Supervivencia e Impacto en media de covariables (Regresión de Cox) por tipos de líneas en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	97
Gráfico 2.13: Funciones de Supervivencia e Impacto (Modelos Paramétricos) por tipos de líneas en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	100
Gráfico 2.14: Funciones de Supervivencia e Impacto (Modelos Paramétricos) para el global de líneas en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	101
Gráfico 2.15: Funciones de Supervivencia de los modelos considerados para el global de líneas en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	102
Gráfico 2.16: Dendograma de medida de disimilitud del análisis cluster jerárquico en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	105
Gráfico 2.17: Dendograma de medida de similitud del análisis cluster jerárquico en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.....	105
Gráfico 2.18: Red neuronal perceptrón multicapas para la clasificación de llamadas en el <i>call center</i> de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007..	111
Gráfico 2.19: Curva COR de los modelos de clasificación de llamadas en el <i>call center</i> de emergencias sanitarias de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	114
Gráfico 3.1: Modelos de series temporales aplicados en un <i>call center</i>	127
Gráfico 3.2: Llamadas recibidas en el <i>call center</i> de emergencias del Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en el período 2004-2007.....	133
Gráfico 3.3: Correlogramas de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el período 2004-2007.....	134
Gráfico 3.4: Periodogramas de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el período 2004-2007.....	134
Gráfico 3.5: Ajuste de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el período 2004-2007 mediante minimización de la suma de los cuadrados de los residuos y análisis espectral basado en la Transformada Rápida de Fourier.....	135
Gráfico 3.6: Ajuste de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el periodo 2004-2007 mediante el modelo Método X-11 de desestacionalización .	137
Gráfico 3.7: Estimación de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el período 2004-2007 mediante el método de descomposición con alisado aditivo de triple parámetro de Winters	138
Gráfico 3.8: Estimación de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el período 2004-2007 mediante el método econométrico ARIMA con análisis de intervención	140
Gráfico 3.9: Correlación cruzada para retardo 0 entre las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga y los casos de gripe en el período 2004-2007	141

Gráfico 3.10: Estimación de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el período 2004-2007 mediante el método econométrico ARIMA con la gripe como función de transferencia	142
Gráfico 3.11: Estimación de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el período 2004-2007 mediante el método econométrico estructural teniendo en cuenta población, pernoctaciones y gripe	144
Gráfico 4.1: Fracción de una cadena de transición del modelo M/M/S	161
Gráfico 4.2: Esquema del mecanismo de cola del modelo M/M/S	161
Gráfico 4.3: Fracción de una cadena de transición del modelo M/M/S+k	162
Gráfico 4.4: Esquema del mecanismo de cola del modelo M/M/S+k	162
Gráfico 4.5: Esquema de la Red de Jackson para alta actividad del <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	167
Gráfico 4.6: Esquema de la Red de Jackson para baja actividad del <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	167
Gráfico 4.7: Funciones discriminantes canónicas del <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	169
Gráfico 4.8: Diferencias de necesidades de Teleoperador por M/M/S comparado con la programación observada, en media de meses, en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	173
Gráfico 4.9: Diferencias de necesidades de Teleoperador por M/M/S comparado con la programación observada, en media de franja horaria, en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	173
Gráfico 4.10: Resultados de la Red de Jackson, en alta actividad, en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	185
Gráfico 4.11: Resultados de la Red de Jackson, en baja actividad, en el <i>call center</i> de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.	186
Gráfico 5.1: Productividad de los turnos de teleoperadores y operadores de radio	200
Gráfico 5.2: Desajustes por franjas horarias en términos porcentuales para Teleoperador y operador de radio	202
Gráfico 5.3: Desajustes relativos de Teleoperadores por meses	202
Gráfico 5.4: Diferencias entre programación real, planificación de necesidades y programación lineal de Teleoperadores y operadores de radio en perfil horario.	203
Gráfico 5.5: Perfil mensual de las diferencias entre programación real, planificación de necesidades y programación lineal de Teleoperadores y operadores de radio.	203
Gráfico 5.6: Perfil mensual de las diferencias entre programación real, planificación de necesidades y programación lineal de horarios homogéneos de Teleoperadores y operadores de radio en perfil mensual.	204

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quisiera expresar mi agradecimiento a los directores de esta tesis, José Jesús Martín Martín y María del Puerto López del Amo González, del Departamento de Economía Aplicada de la Universidad de Granada. Ambos me han orientado, apoyado y ayudado de forma incondicional en cada una de las fases de desarrollo de la tesis, que tuvo su germen en el Máster de Economía de la Salud y Dirección de Organizaciones Sanitarias del que ellos eran directores y me animaron en esta aventura. Sin duda, sin ellos, esta tesis no habría sido posible.

Mención especial merecen, en el ámbito personal y laboral, todas las aportaciones que suponen para mí la amistad de dos personas. José María Patón Arévalo y Ángel Vilches Arenas, que son dos “padres profesionales”.

Deseo agradecer a la Gerencia de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias su autorización y apoyo para la realización de este documento. A Guillermo García Escudero, María Auxiliadora Naranjo, Susana de Castro y a Angélica Tejedor por su magnífica disposición a colaborar. A Pilar Manzanares, Pedro Onieva, Miguel Priu, y Almudena Santiago, responsables de distintas áreas en empresas de teleoperación, gracias por vuestras valiosas aportaciones.

Por último, doy las gracias a mi familia, madre, hermano, sobrinos, suegros, y cuñados pero especialmente a mi mujer Clara y mis hijas María y Clarita. Son ellos los auténticos perjudicados por mis ausencias y dedicación a esta tesis. Sin su apoyo, no hubiese sido posible ni tan siquiera iniciar este trabajo. Clara se ha encargado de leer mil veces las distintas versiones, sus comentarios y consideraciones hacen posible que el texto sea más asequible. Muchas gracias por tu amor, cariño y por encargarte, además, de toda la logística de casa para que pudiera dedicar tiempo a este trabajo. Sin duda, el gran ausente merece el mayor de los agradecimientos, deseo dedicar esta tesis a la memoria de mi Padre que me enseñó perseverancia, el deseo de aprender más y la disposición a poner en práctica lo aprendido. Gracias Papá.

RESUMEN

En los sistemas sanitarios de los países desarrollados es habitual la prestación de asistencia prehospitalaria y transporte de pacientes mediante atención telefónica en un call-center, con movilización de ambulancias si es necesario. El número de marcación reducida 112 atiende toda clase de emergencias en general, el número 061 se aplica en España para la atención de emergencias sanitarias, y el 911 en Norteamérica para todo tipo de emergencias. La demanda de este tipo de servicios aumenta continuamente como consecuencia del incremento y envejecimiento de la población, lo que ha conducido a que los presupuestos destinados a cubrir la atención prehospitalaria hayan crecido sistemáticamente, afectados también por la incorporación de avances tecnológicos. Los centros de llamadas de emergencias sanitarias se han convertido en una tercera puerta de entrada a los sistemas sanitarios que ejercen influencia sobre atención primaria y especializada, las personas demandantes que se encuentran en una situación de urgencia o emergencia realizan una llamada y su situación puede ser resuelta bien con consejos sanitarios, bien con movilización de algún recurso. Por ello, la planificación y prestación de los servicios de emergencias prehospitalarios (SEM) adquiere especial relevancia en los momentos actuales de profunda crisis económica, al objeto de presupuestar una asignación eficiente de recursos.

La apreciación de que el trabajo del *call center* es eminentemente sanitario ha supuesto que la mayoría de estudios se centren en los aspectos de los resultados de la actuación médica, y en especial en la fase de atención *in situ* al paciente, dejando un poco al margen la actuación del *call center*, en el que efectivamente hay una participación médica, pero en coordinación con teleoperadores debidamente formados. En Europa existen grandes diferencias en el uso de los SEM (Tubaro *et al*, 2012; Widimsky *et al*, 2010) y existen pocos estudios sobre la relación coste-efectividad de diferentes modelos de prestación de la asistencia prehospitalaria (*National EMS Advisory Council*, 2009). También son escasos los trabajos que abordan la eficiencia de los distintos modelos, es decir, los aspectos relacionados con el dimensionamiento y la calidad de servicio en situación real de operaciones; en definitiva, el análisis del proceso productivo orientado a minimizar los costes de acuerdo al nivel de servicio que se desee ofertar.

La primera fase de la atención prehospitalaria se realiza en un *call center*. El objetivo de este *call center* es proporcionar servicios adecuados a un coste razonable (medidos habitualmente en porcentaje de llamadas atendidas antes de un número de segundos preestablecido, y porcentaje de llamadas perdidas). El coste razonable es el mínimo (personal y tecnología), para unas necesidades de atención dadas. Esta forma de entender el proceso operativo de un centro de atención de llamadas de emergencias parte del modelo definido y proporciona la respuesta más eficiente vinculada al nivel de servicio (eficiencia productiva).

Esta tesis se realiza en el contexto de los sistemas de información de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias (EPES) que es una Agencia pública dependiente de la Consejería de Igualdad, Salud y Políticas Sociales de la Junta de Andalucía (Ley 2/1994 de la Junta de Andalucía). La misión de EPES es garantizar una atención integral, personalizada y en tiempo adecuado a las urgencias y emergencias extrahospitalarias, facilitando la actividad del Sistema Sanitario Público de Andalucía (SSPA). EPES coordina y atiende las urgencias y emergencias extrahospitalarias, coordina la red de transporte urgente, realiza el transporte interhospitalario de Pacientes en estado crítico, y otros programas de colaboración para toda la Comunidad Autónoma.

El centro de coordinación del Servicio Provincial de Málaga de EPES, es un *call center* que, en el ámbito provincial, atiende a las emergencias sanitarias prehospitalarias para una población de 1.600.000 habitantes, fundamentalmente, a través de la línea 061. También atiende a las emergencias sanitarias de la línea 112, a las urgencias sanitarias por vía del número 902505061, y gestiona el transporte sanitario urgente en colaboración con el Servicio Andaluz de Salud. Se realizan otras actividades de atención de llamadas, pero su importancia en volumen de trabajo es escasa.

Las actuaciones que se catalogan como de emergencia se pueden resumir en: Accidentes de tráfico, trabajo, domésticos de carácter grave (politraumatismos,...), enfermedad coronaria aguda (infarto, Parada cardiorrespiratoria –PCR-...), enfermedad respiratoria aguda grave (crisis asmática severa,..), inconsciencia (Accidentes cerebrovasculares graves, Ictus,...) y hemorragias graves (hemorragia digestiva,...), cuyos efectos sobre la vida y posteriores secuelas pueden ser dramáticas para los pacientes, afectando a su productividad como capital humano de la sociedad. Por ello es de vital importancia que se dispongan de medios adecuados para una respuesta rápida.

En la operativa interactúan 3 modalidades de puestos de trabajo, que son, el teleoperador, operador de radio, y médico coordinador. Los dos primeros se subcontratan a una empresa especializada, y el médico es plantilla de EPES, suponiendo el coste de personal el 70% de los gastos de explotación del centro aproximadamente.

El objetivo central de este trabajo se resume en diseñar y contrastar un modelo de optimización a corto y medio plazo de la gestión de un *call center* de llamadas de emergencias sanitarias utilizando de forma sinérgica distintas técnicas de investigación operativa y econométrica. En la tabla 1 se exponen los objetivos de cada capítulo y la metodología aplicada.

Tabla 1: Objetivo de la tesis

Capítulo y Objetivo	Metodología
1. Diagnóstico del Sistema de información para la gestión y medición de eventos y tiempos relevantes. (<i>Call center metrics, performance measurement, Workflow</i>)	Diagrama de bloques funcional y análisis estadístico descriptivo (frecuencias absolutas y relativas, medidas de tendencia central, dispersión, histogramas, diagramas de tallo y hojas).
2. Desarrollar modelos de comportamiento de llamadas perdidas e impaciencia de los usuarios. (<i>Abandonment, Impatience</i>)	Impaciencia: Modelos de supervivencia no paramétrico (<i>Kaplan-Meier, Splines</i>), semiparamétricos (Regresión de <i>Cox</i>), Paramétricos (Exponencial, Normal, Logístico,..., y Modelos de Fallo Acelerado).
	Pronóstico de llamadas perdidas: estudio previo con Análisis en Componentes Principales y Cluster Jerárquico, Regresión lineal múltiple, Modelos Lineales Generalizados (Regresión de <i>Poisson, Tweedie</i> , Binomial negativa, Normal identidad y con enlace logaritmo).
	Instrumento de clasificación de llamadas: Análisis discriminante, Regresión logística binaria, Redes Neuronales (Perceptrón multicapa y Red de Base Radial).
3. Pronóstico de la Demanda. (<i>Forecasting</i>)	Modelo clásico de descomposición Armónico multiplicativo con análisis espectral. Modelo clásico de descomposición estacional X-11. Modelo de alisado de triple parámetro de <i>Winters</i> . Modelo Arima con análisis de intervención de meses estivales. Modelo Arima con función de transferencia gripe. Modelo estructural armónico con gripe, pernoctaciones y población.
4. Necesidades de personal. (<i>Staffing</i>)	Identificación de estados estacionarios con Test de <i>Kruskal-Wallis</i> , Análisis Discriminante y Test de <i>Kolmogorov-Smirnov</i> . Modelos de colas Erlang C (M/M/S), Erlang A (M/M/S+k) y Red de colas acíclica de Jackson
5. Optimización de plantilla. (<i>Scheduling</i>)	Programación lineal entera, modelo general y modelo que tiene en cuenta la satisfacción del personal con horarios más homogéneos.

Fuente: Elaboración propia

Se ha descrito la operativa de gestión de las llamadas en el Anexo I (*Workflow*), que se puede resumir como el trabajo realizado durante la llamada consistente en la atención por parte del teleoperador, identificación de demanda y escucha (evento en el que el teleoperador recibe las instrucciones del médico, que no entra en contacto con el llamante) si procede por parte del médico coordinador, y trabajo posterior a la llamada, en el que el operador de radio recibe las instrucciones del médico para activar los recursos móviles y hace seguimiento del caso hasta su cierre, pudiendo necesitar aclaraciones del médico coordinador.

De esta forma, los eventos y tiempos identificados han sido (*call center metrics*): número de llamadas recibidas, de llamadas perdidas, de escuchas emitidas, de escuchas atendidas, de llamadas emitidas o salientes, tiempos de respuesta a las llamadas recibidas, tiempos de servicio de las llamadas atendidas, tiempos de ocupación de la escucha, y tiempos de ocupación de las llamadas salientes. Por tanto la carga de trabajo se calcula como el número de eventos por su tiempo de ocupación.

El análisis descriptivo mostró como la demanda es irregular a lo largo de las horas del día, los meses y los tipos de línea, con algo de menor variabilidad en los tiempos de respuesta. Los tiempos de ocupación de los eventos se observaron, en general, positivamente correlacionados con el volumen de llamadas, así a mayor volumen mayor tiempo de ocupación y el número de llamadas perdidas crece más que proporcionalmente en las franjas horarias de mayor actividad. Estos resultados suelen ser los habituales en *call centers* de atención las 24 horas del día, aunque puedan diferir en intensidad

Las llamadas recibidas en 2007 fueron de 579.821, que supone un promedio de 66 a la hora, con oscilaciones de 25-40 en las franjas de 1-7 horas y 50-99 en las restantes franjas, destacando las de mayor demanda las de 9-15 horas y de 18-22 horas. Asimismo los meses de diciembre, enero, julio y agosto son los de mayor afluencia.

El porcentaje de llamadas perdidas global (*performance measurement*) es del 12,7%, siendo la línea 061 la que en relativo pierde más llamadas (16,7%), y la línea 112 la que menos (1,6%). Casi dos de cada tres llamadas perdidas se producen cuando han transcurrido menos de 11 segundos, pero sobretodo, en el intervalo de antes de 6 segundos se produce un abandono que supone el 61% del total. Una posible alternativa a la evaluación de las llamadas perdidas es ajustar el porcentaje de llamadas perdidas, del tal manera que si se resta tanto del numerador como del denominador las de espera inferior a 11 segundos, se reduce ostensiblemente el porcentaje al 4,7%. Éste es un indicador más adecuado de llamadas perdidas, siempre y cuando el *call center* considere irrelevante las llamadas abandonadas en los primeros segundos.

Los tiempos de respuesta a las llamadas recibidas se sitúan sobre los 11 segundos, con escasas diferencias por línea a excepción de la línea 112 que se sitúa en 16 segundos. Se ha observado que el tiempo de respuesta aumenta en las franjas horarias de máxima actividad (9-15 horas) y disminuye en baja actividad (1-7 horas). El 50% de las llamadas atendidas, lo son en los 5 primeros segundos, casi el 70% de las llamadas son atendidas en 10 segundos o menos, y el 86% en 20 segundos o menos, siendo este nivel de servicio un indicador clave de rendimiento del *call center* (*performance measurement*).

Los tiempos de servicio medios han sido de 151,69 segundos. Se observa que éstos aumentan en las franjas de máxima actividad y disminuyen en baja actividad, a excepción de los intervalos de las 22hs a las 24hs, cuando alcanza su máximo. En los meses invernales alcanza el mayor tiempo (160 segs.) y en verano el menor (140 segs.).

En general, para el conjunto total de líneas, se muestra como se solicita escucha en casi el 50% de las llamadas atendidas. Esas escuchas son atendidas por el médico coordinador en cerca del 90% de los casos, por lo que el 10% restante han de volver a la cola de escuchas. Los meses de alta actividad y las franjas de 22-23 horas son los de mayor pérdida de escuchas (se solicita escucha y el médico no las atiende).

Las llamadas emitidas tienen un perfil similar a las llamadas recibidas, dada la relación funcional existente entre ambas, con un promedio de 63 a la hora. La generación de

llamadas salientes no puede relacionarse directamente con la línea entrante de la llamada atendida, sino más bien con la especificación del servicio prestado, es decir, la demanda. No obstante, es posible aproximar unas ratios genéricas de la mezcla de llamadas atendidas. Se observa como por cada demanda susceptible de emisión de llamadas salientes se emiten casi 3 llamadas al exterior. De otra forma, aunque la relación entre llamadas recibidas y emitidas es casi 1, no debe afirmarse que cada llamada recibida provoque una llamada emitida, sino que cada llamada recibida se traduce en un 35% de probabilidad de convertirse en una demanda susceptible de generar llamadas salientes, y dado este caso, se producirían casi 3 llamadas emitidas para la resolución del caso.

El tiempo de ocupación de las llamadas emitidas presenta menos variabilidad en sus valores por franja y mes a lo largo del año, destacando que a primera hora de la mañana (9 horas) se encuentra el mínimo en poco más de 70 segundos, y en horario nocturno (22 horas) el máximo, con cerca de 85 segundos.

Se han detectado algunas deficiencias del sistema de información, entre las que destacan que no se dispone de la trazabilidad de escuchas emitidas y aceptadas por tipos de líneas, ni de las llamadas emitidas y sus tiempos de ocupación. La mejora de esta trazabilidad permitiría un conocimiento más adecuado de las cargas de operaciones por tipos de líneas.

Asimismo se sugiere que el núcleo de la definición de servicios en los pliegos de contratación del servicio de teleoperación ha de incluir el porcentaje de llamadas perdidas y el nivel de servicio solicitado como base de la oferta publicada (*performance measurement*), acompañada de información de los eventos y tiempos analizados.

En el capítulo 2 se analizan las llamadas perdidas (*abandonment, impatience*), ya que afectan directamente a la percepción de una demanda adecuadamente satisfecha. Por tanto, su estudio y análisis adquiere especial relevancia en el contexto descrito, siendo además importante conocer la impaciencia del usuario a la hora de determinar el dimensionamiento del *Call Center* ya que existen modelos aplicables para esta situación.

En un primer bloque metodológico, se han aplicado modelos de supervivencia no paramétricos (Kaplan-Meier), semiparamétricos (Regresión de Cox), y paramétricos (11 distribuciones y modelos de fallo acelerado) que tienen en cuenta las observaciones censuradas. Los resultados muestran que no ha sido posible encontrar un ajuste paramétrico ni semiparamétrico a la observación empírica de la supervivencia y riesgo de las llamadas perdidas de gran exactitud, aunque sí aceptables (coeficiente de correlación de 0,915 sin diferenciar tipos de líneas). La regresión de Cox sobrestima ligeramente la supervivencia, al contrario que los ajustes paramétricos y modelo de fallo acelerado, aunque ambos estiman que el incremento de efectivos (operadores y médicos coordinadores) reducirían las llamadas perdidas, en especial el rol de médico coordinador, reconociendo una distinta impaciencia según el tipo de línea. En concreto, en la regresión de Cox el médico coordinador reduce un 24,1% el riesgo de llamadas perdidas, y en el modelo de fallo acelerado se muestra un efecto de incremento de 4,04 segundos en los tiempos de paciencia de los llamantes.

Los escasos trabajos publicados indican que es posible aplicar la regresión de Cox, pero que no es fácil que se cumplan los supuestos de proporcionalidad a lo largo del tiempo de observación (Feigin, 2006) y aunque es cierto, como se ha probado para el caso de EPES, es posible aplicar una versión extendida que tenga en cuenta al tiempo como covariable, resultando que la mayor influencia se produce por el transcurso de los

segundos hasta atender la llamada y a pesar que ello es debido a la demanda y oferta de servicio, es posible asegurar la significación de los recursos dispuestos, independientemente del tiempo que transcurra, actuando como mecanismo protector de las llamadas perdidas.

La impaciencia media varía entre modelos, situándose en 43 segundos por el método de Kaplan-Meier y en 41 segundos en los modelos paramétricos, con mínimos de 25 segundos y variaciones en función del tipo de línea. Dado que el objetivo es poder calcular una impaciencia media para aplicar en los modelos de colas, es posible estimar dicha impaciencia en el rango de 35-50 segundos desde los momentos de mayor número de llamadas perdidas hasta los de menos.

El análisis de supervivencia toma todas y cada una de las llamadas, sin embargo desde la óptica de la gestión empresarial, es necesario agrupar llamadas individuales perdidas en intervalos, para obtener una información más sintética y que pueda servir de apoyo a la toma de decisiones. El objetivo, en un segundo bloque metodológico, es obtener pronósticos de llamadas perdidas por franjas horarias, dado que el dimensionamiento del personal se realiza atendiendo a las necesidades por franjas y meses.

Un paso previo es conocer como se relacionan las variables y factores de interés, cuánta varianza explican y como consecuencia, cuáles han de tenerse en cuenta en los modelos que describan y pronostiquen las llamadas perdidas. Así, se inicia con un análisis en componentes principales que agrupa las variables en 3 funciones, se sigue con un análisis cluster con medidas de similitud y disimilitud de variables. Con los resultados obtenidos en los dos análisis anteriores, se seleccionan las variables para un modelo de regresión lineal múltiple, pero dado que es posible encontrar pronósticos negativos, deben tenerse en cuenta los modelos lineales generalizados, siendo de aplicación una regresión de Poisson que prevé valores enteros y positivos en variables de tipo recuento (se suman las llamadas perdidas en cada franja del año), como es el caso. Si se diese sobredispersión en los resultados pronosticados se aplicaría una regresión binomial negativa. Adicionalmente se prueba un modelo de regresión *Tweedie*, ya que se tienen variables de recuento discretas (llamadas) y continuas (tiempos de transcurrido hasta que se atiende la llamada), que pueden influir en la forma de la distribución de la variable dependiente. El análisis considera las 8.760 franjas horarias del año 2007 (24*365). El valor añadido que aporta este conocimiento es doble, de un lado se profundiza en la relación y agrupación de variables y factores, y de otro, se toma como referencia el pronóstico de llamadas perdidas para cada franja de cada mes, lo que permite, dada la relación encontrada, sugerir modificaciones sobre las variables explicativas controlables, con el objetivo de no superar los umbrales de llamadas perdidas para el nivel de servicio que ofrece la empresa.

El análisis de componentes principales identifica una primera componente relacionada con el dimensionamiento de los recursos, que agrupa las variables hora, médico coordinador y operador. La segunda componente relaciona la impaciencia con el tipo de línea del usuario, y la tercera el momento temporal (mes y día de la semana). Por ello, se puede concluir que el dimensionamiento es crucial para evitar la variabilidad de llamadas perdidas, así como tener en cuenta los distintos grados de impaciencia de los usuarios, que además no es homogéneo en el tiempo, sino que los meses y días de mayor afluencia de llamadas se producen llamadas perdidas más que proporcionalmente. Este resultado se confirma con el análisis cluster, teniendo en cuenta la similitud de las variables, ya que se obtiene la misma agrupación. Por su parte, el cluster con disimilitud revela que las variables médico coordinador y operador están íntimamente relacionadas. Estas consideraciones pueden servir para tratar de incluir

variables resumen en los posteriores análisis de llamadas perdidas por franja y mes (por ejemplo porcentaje de ocupación del sistema – agregación de ocupación de operador y médico coordinador-), ya que advierten de los posibles problemas de multicolinealidad de las variables, hecho que ocurre en el modelo de regresión lineal múltiple, en el que se incluyen las variables del primer componente del análisis de componentes principales además del tiempo de espera hasta perderse la llamada, que resultó no significativo. Además el modelo de regresión lineal estimó 640 franjas con valores negativos, hecho que dificulta notablemente considerar su aplicación.

Los resultados de los modelos lineales generalizados, no son muy precisos, presentando errores de hasta el 50% y número de llamadas promedio de error de entre 3,7 y 5 por cada franja de cada mes, sin embargo, cuando se agrupan para el total de cada franja de cada mes los errores en MAPE se sitúan en el 11%, combinando las estimaciones de los modelos. Ha de tenerse en cuenta que el promedio de llamadas perdidas por franjas es algo más de 8 y en las franjas de madrugada no llegan a 2, por lo que es de esperar unas desviaciones relativas altas. Dado que ninguno de los modelos ha presentado una superioridad absoluta sobre los demás, siendo los de mejores ajustes la regresión binomial negativa y Normal con enlace logarítmico, lo idóneo es combinar los modelos en aquellas franjas que se han mostrado más precisos, concretamente la regresión binomial negativa en las franjas de 1-7 horas y 12-19 horas, y la regresión normal con función de enlace logaritmo para el resto.

Es destacable que la variable tiempo hasta que se pierde la llamada (impaciencia) no ha resultado significativa en algunos de los modelos, dando a entender que no ha sido influyente para el volumen de llamadas perdidas. Sin embargo si lo es el tiempo hasta que se atiende la llamada, incrementándose el riesgo de que se pierda la llamada en un 3,3% por cada segundo que transcurra. Puede concluirse, por tanto, que el tiempo transcurrido si afecta al abandono de la llamada, siendo congruente con las conclusiones del análisis de supervivencia y con los trabajos citados.

La importancia del dimensionamiento puede concluirse del efecto de interacción de las variables operador y médico coordinador, que influyen en la pérdida de llamadas, entre un 2,8% y un 12% según modelos y que se corresponden con la alta y baja actividad respectivamente. Como era de esperar la aportación de los recursos operador y médico coordinador ayudan a que se pierdan menos llamadas, reduciéndose el riesgo entre un 46% y un 5% (baja y alta actividad) para el caso del médico coordinador, y entre un 24% y un 7% (baja y alta actividad) para el caso del operador. Aunque la influencia del médico coordinador es mayor que la del operador, la interacción de ambos presenta un mayor riesgo en baja actividad ya que el dimensionamiento es aproximadamente la mitad que en alta actividad, lo que provoca una mayor variación en llamadas perdidas si no se disponen de los efectivos necesarios. Estos resultados podrían indicar la posibilidad de que el médico coordinador pueda constituir un cuello de botella. Las llamadas recibidas incrementan también el número de llamadas perdidas entre un 4,6% y 2,5% por cada una, lo que explica que en las franjas de alta actividad la pérdida de llamadas sea más que proporcional.

En resumen, el número de llamadas recibidas, tiempos hasta que son atendidas y la interacción del dimensionamiento incrementan los riesgos de pérdidas, que se mitigan por la acción de los recursos dispuestos para atender la demanda. El pronóstico de llamadas perdidas por franja y mes podría agruparse por este último factor para complementar a los modelos de pronóstico de llamadas recibidas del capítulo 3 con objeto de obtener una mejor previsión de la demanda que apoye un dimensionamiento adecuado.

Aunque la inclusión de las variables franja y mes mejoraron ligeramente la bondad del ajuste y la capacidad predictiva de todos los modelos, fue a costa de la pérdida de significación de las variables de operadores y médicos coordinadores, tanto en los modelos lineales generalizados como en la regresión de cox y modelos de fallo acelerado del análisis de supervivencia. Este hecho indica que se produce un efecto sustitución de las explicaciones basadas en los recursos disponibles a la localización temporal de la variabilidad, lo que implica desde un punto de vista de la gestión suponer que los recursos puestos a disposición de la prestación de servicios no influyen en las llamadas perdidas y si son influyentes los momentos temporales en los que se producen, siendo justamente esta última afirmación la consecuencia de los recursos dispuestos. En otras palabras, el dimensionamiento dispuesto para la demanda real debe influir en el número de llamadas perdidas, y éstas se producen en momentos temporales en los que el dimensionamiento no es del todo adecuado. Por ello, en estos modelos no es recomendable incluir variables de localización temporal para cualquier tipología de *call center*.

Un tercer bloque metodológico de estudio de las llamadas perdidas es la obtención de un instrumento de clasificación para determinar que valores toman las variables que influyen en la pérdida o abandono de la llamada. Las técnicas de clasificación pueden ser diversas, se aplican un análisis discriminante, una regresión logística binaria, y dos modelos de red neuronal (perceptrón multicapa, y red de base radial) comparándose éstas con la finalidad de determinar cuál se ajusta mejor a los valores observados.

Los resultados obtenidos son aceptables, globalmente considerados, siendo la red MLP (perceptrón multicapa) la de mejor resultado junto con el análisis discriminante. Los otros dos modelos, red RBF (red de base radial) y regresión logística binaria no permiten discriminar adecuadamente las llamadas perdidas. Los valores predictivos negativos son muy imprecisos, la red MLP clasifica adecuadamente el 25,27% de las llamadas perdidas, sin embargo los valores predictivos positivos son altísimos. La curva ROC calculada para la comparación de modelos muestra un área bajo la curva de 0,81 que confirma una buena capacidad como instrumento de clasificación.

El tipo de línea y el tiempo transcurrido hasta la atención o pérdida de la llamada son las variables de mayor influencia en la red MLP, con casi el doble de valor que los recursos dispuestos (operador y médico coordinador). Estos resultados no son coincidentes con los obtenidos del análisis de componentes principales, en el que los recursos dispuestos y la demanda explicaban la mayor parte de la variabilidad, pero dado que el tiempo y tipo de línea son la consecuencia del dimensionamiento ofertado para la demanda real es razonable esperar que a efectos de clasificar la llamada en perdida o atendida tengan mayor capacidad discriminatoria. Dado que es un instrumento de clasificación, su objetivo es determinar si en esas circunstancias la llamada será atendida o no, es algo análogo a un análisis de sangre para determinar si se padece un nivel de glucosa alto. El objetivo no es averiguar las causas de la diabetes, sino determinar si se padece o no diabetes de acuerdo a los resultados del análisis de sangre.

Todos los análisis conducen a que una mayor oferta de recursos adecuadamente dimensionados reducen el número de llamadas perdidas, asimismo tras los resultados en los tres bloques metodológicos, la inclusión de variables *dummies* de mes, hora y día de la semana distorsionan los resultados ya que, como es de esperar, lo que ocurre en esos espacios temporales depende de la demanda y la oferta.

Una vez se han descrito las operaciones a realizar y sus tiempos de ocupación, así como el análisis y contextualización de las llamadas perdidas, el primer paso hacia la

determinación del óptimo de plantilla consistiría en tener una previsión de la demanda (número de llamadas a atender *-forecasting-*). Aunque existe controversia en si deben tomarse bien las llamadas atendidas como pronóstico de la demanda bien las llamadas recibidas. Se ha optado por ésta última, pues es aceptable que haya quedado un cierto volumen de demanda insatisfecho, además para el caso de querer tomar las llamadas recibidas sería necesario en primer lugar pronosticar las recibidas y posteriormente restar las pérdidas calculadas en los modelos anteriores de pronóstico de llamadas pérdidas del capítulo 2, así puede aseverarse que son métodos complementarios.

Se han aplicado instrumentos de pronóstico de demanda de las llamadas recibidas, que suponen el primer *input* informativo necesario para la planificación de las operaciones. Teniendo en cuenta esta perspectiva se explora la aportación del análisis de series temporales con fines de pronóstico de llamadas. Los modelos de series temporales son apropiados en previsiones a corto plazo y en condiciones estables de evolución, sin embargo tienen el grave inconveniente de que siguen la estructura pasada. La ventaja de estos modelos reside en la facilidad para detectar un cambio de comportamiento de la serie, en la medida que los datos observados difieran de la misma, lo que permite intervenir más rápidamente (Peña, 2010). Los modelos clásicos de análisis de series de tiempo se basan en la descomposición de componentes; alternativamente, en el ámbito de los métodos econométricos, los estudios de series se abordan desde dos perspectivas, estructural y procesos estocásticos, que permiten incorporar variables exógenas, posibilitando el estudio de la causalidad.

Los primeros estudios de series temporales afirmaban que la evolución de los valores de la variable se explica a través de un conjunto de componentes (tendencia, estacionalidad, ciclo, y componente irregular), cuya relación puede ser aditiva o multiplicativa. Son componentes de carácter determinista inobservables, pero posibles de modelizar (Cáceres *et al*, 2008), conocidos como métodos clásicos de descomposición (modelación clásica). En esta tesis se realizan dos descomposiciones, la primera consiste en extraer la tendencia y modelizar la estacionalidad aplicando análisis espectral basado en la Transformada Rápida de Fourier (Aguirre, 1994). En la segunda descomposición, se desestacionaliza la serie por el método X-11 y se modeliza la tendencia minimizando la suma de los cuadrados de los residuos (Casas, 1999).

Un avance respecto a la modelación clásica es la aplicación de los modelos de alisado, siendo los más conocidos los de Brown, Holt, y Winters, que ajustan los componentes de la serie considerando una ponderación en la influencia temporal de los distintos valores de la variable, al contrario que la modelación clásica, en la que cada uno de los valores tiene igual peso o influencia. Los modelos de alisado permiten captar mejor variaciones en el nivel, tendencia y estacionalidad, en su caso, dando mayor peso a los últimos valores. Estos modelos provienen de la disciplina de la Investigación de Operaciones (Peña, 2010), y aunque algunos autores los consideran casos particulares de la modelación ARIMA (Aguirre, 1994; Peña, 2010), el modelo de triple parámetro de Winters no coincide con mucha exactitud con ningún modelo ARIMA (Pérez, 2006), aplicándose en este capítulo desde la perspectiva de una composición aditiva de componentes.

Como alternativa a estos modelos clásicos se plantean los modelos econométricos. El enfoque de procesos estocásticos, desde la vertiente univariante, tiene su máximo exponente en la modelación ARIMA, fundamentalmente a través de la metodología de Box-Jenkins (Box y Jenkins, 1970), que se aplica tanto con fines descriptivos como predictivos, tomando en consideración los valores pasados de la propia variable, es decir, el número de llamadas recibidas depende de su propia historia (Pulido, 1999). En

este capítulo se realiza un análisis ARIMA considerando los meses estivales como análisis de intervención¹ y la gripe como función de transferencia².

El enfoque estructural o causal se basa en explicar el comportamiento de una variable en función de otra u otras. En este capítulo las llamadas recibidas se explican por el volumen de población (número de habitantes), las pernoctaciones en la provincia de Málaga (como aproximación a la estacionalidad en los meses de julio y agosto), y el efecto de la gripe, que explica el aumento de llamadas en los meses de diciembre y enero³, modelizando la estacionalidad con técnicas de análisis espectral, para obtener un modelo simple de espacio de estados.

La comparación sintética de modelos sobre la bondad del ajuste y capacidad predictiva, indica que en la fase de estimación, el modelo de menor error (RMSE) ha resultado ser el ARIMA con intervención (1.988,46), seguido del ajuste de Winters, el ARIMAX, el estructural, el armónico multiplicativo y el modelo de descomposición clásico. Se destaca que el estructural obtiene el menor recorrido entre el MAPE y MaxAPE. En la fase de validación, el ARIMA con intervención es el de peor ajuste (3.643,39), seguido del ajuste de Winters, el armónico multiplicativo, descomposición clásica, estructural, y finalmente el ARIMAX. Los modelos basados en la historia pasada (ARIMA, Winters, Descomposición) obtienen valores previstos mayores que los observados, dado el crecimiento sistemático anual observado de 2004 a 2007.

Aunque los resultados en el periodo de validación empeoran en términos de capacidad predictiva, se muestra la utilidad de estos modelos para detectar cambios de comportamiento de la variable, lo que permitiría tomar las medidas oportunas. El modelo armónico parte de la misma tendencia que los modelos de series de tiempo, sin embargo la influencia de la componente estacional va decreciendo con el transcurso de los años (el pico de Enero 2005 no tiene un efecto importante sobre el pronóstico de periodos posteriores), por lo que la estimación fue algo por debajo de lo observado (1,95%). Los modelos que incluyen alguna variable exógena obtienen unos resultados en términos de RMSE intermedios entre los expuestos, no obstante mejoran en el periodo de validación y sus errores en estimación anual se sitúan en el 2,62% (ARIMAX) y el 0,51% (Estructural), además de obtener mejores resultados en RMSE. El modelo ARIMAX presenta mejores resultados, la influencia histórica de la serie junto con el descenso de los casos notificados por gripe han pronosticado un descenso de llamadas que ha resultado ser incluso mayor que el observado para las recibidas. Además todos los modelos presentan resultados superiores que el método de proyección enfocada aplicado habitualmente en la Empresa.

Algunos de los resultados coinciden con la evidencia empírica disponible. Por un lado, una mayor complejidad no va asociada necesariamente a mejoras del pronóstico (Taylor, 2008), y por otro, confirma la importancia de incorporar variables exógenas para mejorar los resultados (Taylor, 2008; Peña, 2005).

Existe variabilidad en los pronósticos de los modelos, aunque todos cumplen con la exigencia de un MAPE inferior al 5%; el modelo X-11, alisado de Winters y ARIMA con intervención, predicen mayor número de llamadas que las observadas, mientras que

¹ En los modelos con variables de intervención las series económicas son afectadas por fenómenos externos. Estos fenómenos son llamados intervenciones ya que interfieren en el comportamiento original de la serie, por lo tanto se debe evaluar su efecto e incorporarlo al modelo ARIMA a través de variables artificiales binarias (Kikut, 2002).

² Una función de transferencia es un modelo matemático que a través de un cociente relaciona la respuesta de un sistema (modelada) a una señal de entrada o excitación (también modelada) (Peña, 2010).

³ La gripe es una enfermedad de declaración obligatoria (EDO), con ciclos epidémicos cada 10 años aproximadamente, y cuyo efecto estacional ha sido probado (Moreno-Civantos *et al*, 2000).

el armónico multiplicativo, ARIMAX y estructural armónico predicen menos. Los primeros son útiles como modelos de alerta ante comportamientos no habituales y los segundos, proporcionan un mayor conocimiento explicativo de las variaciones de la demanda. Por ejemplo, el modelo ARIMAX establece una asociación significativa entre las llamadas y los casos notificados de gripe, no encontrando sin embargo relación con la población y las pernoctaciones, posiblemente debido al componente autorregresivo, que captura la evolución en el mismo sentido de estas dos variables. Los resultados obtenidos en el modelo estructural armónico ponen de manifiesto la mayor propensión a llamar a centros de emergencias de las personas afectadas por gripe y la menor de la población que pernocta. Aunque una dificultad añadida de estos dos modelos consiste en la necesaria estimación a su vez de los valores previstos de las variables exógenas para el año siguiente.

La visión conjunta de los modelos ofrece un rango de estimación anual de llamadas al servicio de emergencias para 2008, desde 557.672 hasta 613.960, siendo las reales 572.674. Este hecho enriquece la información al contemplar escenarios con posibles descensos, hecho constatado en 2008, lo que permite planificar cursos de acción alternativos de los recursos y establecer pronósticos que incorporen el conocimiento de modelos cuantitativos alternativos, además superan tanto en cuantificación como en conocimiento del fenómeno al método de proyección enfocada.

Como se indicaba anteriormente, la carga de trabajo se determina atendiendo a los tiempos de asistencia y volumen de demanda (número de llamadas recibidas). Así el dimensionamiento necesario (*staffing*) que se estudia en el capítulo 4, se centra en el análisis y comportamiento de estas dos variables en intervalos de tiempo de una hora de acuerdo a los niveles de servicio que se desean ofrecer. Es posible plantearlo desde dos perspectivas, la primera es analizar el comportamiento con datos empíricos de llamadas recibidas reales y tiempos de atención o servicio observados. La segunda perspectiva con fines de pronóstico requiere de una previsión de llamadas a recibir y de tiempos a emplear. Para ambas perspectivas, la aplicación de los modelos analíticos al dimensionamiento de los *call center* requiere de la misma información primaria, ya sean magnitudes reales o previstas, y resulta de vital importancia a la hora de tomar decisiones de asignación de recursos, en especial los humanos, tanto para analizar la situación actual como con fines prospectivos.

El objetivo es presentar de una manera integral la identificación de estados estacionarios, las fases de estudio del comportamiento de la afluencia de llamadas (volumen de demanda) y tiempos de atención, aplicación de modelo compatible (Erlang C [M/M/S] y Erlang A [M/M/S+k]), y extensión a una red de colas acíclica de Jackson que permita evaluar comparativamente la robustez de los resultados de carga de trabajo y cuellos de botella en el marco de un equilibrio de nivel de calidad de servicio y aprovechamiento de los recursos.

Los resultados coinciden con la evidencia empírica disponible en *call centers* de emergencias (Channouf et al, 2007; Matteson et al, 2011), en cuanto a modelos de colas aplicables, sin embargo, se aporta un marco de referencia más amplio y flexible enfatizando la identificación de los estados estacionarios.

La metodología aplicada para la identificación de estados estacionarios permite, independientemente de probar y descubrir el comportamiento de llamadas y tiempos (requisito imprescindible para aplicar un modelo de colas), mejorar el conocimiento de las relaciones entre las variables. Así el análisis discriminante aporta que las variables relacionadas con la estructura de oferta (número de médicos coordinadores y

teleoperadores) son las de mayor capacidad de diferenciación, seguidas de las variables de demanda (llamadas recibidas e índice mes). Los coeficientes de estructura muestran que las variables número de médicos coordinadores y número de operadores son las más correlacionadas con cada una de las funciones discriminantes, seguidas del número de llamadas recibidas y el índice de mes. Las dimensiones de oferta y estructura son, por tanto, las que más influyen en el poder discriminatorio. Dado que la dimensión de recursos está en función de la demanda, también es posible interpretar que la demanda influye en la dimensión de recursos y es por tanto la inductora primaria del poder discriminatorio. Otro valor añadido del análisis discriminante es que alerta de otras posibles agrupaciones de franjas que reducirían el número de ellas a programar para otros posibles objetivos de estudio.

La programación mensual de teleoperadores no se adapta al perfil necesario, dándose meses con excesos de recursos (febrero a noviembre) y meses con defecto (enero y diciembre), asimismo la programación diaria resulta excedente en las franjas de madrugada (1 a 7), tarde (14 y 18 a 19) y noche (23) e insuficiente en el resto de franjas. Los modelos de colas mejoran el cálculo de las necesidades de teleoperadores, destacando un ahorro del 4,4%, mejora del tiempo de respuesta en un 38% y del nivel de servicio en un 23%. El modelo M/M/S+k indica una reducción de las llamadas perdidas del 12,7% al 6,58% lo que supone una mejora del 48% en este indicador clave. El nivel de servicio pasaría del 70% de llamadas atendidas antes de 10 segundos a casi el 90% (M/M/S) o el 93% (M/M/S+k), y el tiempo de respuesta de 10,5 segundos a 6,5 (M/M/S) o 3 segundos (M/M/S+k).

Las diferencias de indicadores de rendimiento entre los modelos de colas y la programación real, obtenidos en el capítulo 1, se explican porque con el dimensionamiento real se supone que siempre estarán presentes el número de médicos necesarios y en la realidad el dimensionamiento responde al número de personas que estarán en turnos y que necesariamente tomarán los descansos y pausas legales, lo que implica que en ocasiones no estarán presentes todos a la vez. Siguiendo en esa línea, se analizó el escenario de eliminar un teleoperador en cada franja y los resultados de llamadas perdidas y nivel de servicios se acercan a los valores observados en la realidad. En cuanto a las diferencias en los indicadores de rendimiento entre los modelos M/M/S y M/M/S+k se explican porque el primero supone una paciencia infinita del llamante que finalmente será atendido, mientras el segundo supone una impaciencia que supondrá el abandono (42 segundos de promedio calculado en el capítulo 2 por los modelos de supervivencia) y por tanto una menor carga de trabajo debido a que finalmente se atenderán menos llamadas que las esperadas.

La hipótesis de emplear puestos polivalentes de teleoperadores y operadores de radio con objeto de aprovechar las economías de escala plantea un ahorro potencial de 290.000 euros, si bien es cierto que deberían afrontarse costes adicionales de formación y un periodo de transición a la nueva operativa. El hecho de que ya se opere de esta forma en las franjas de 22 a 7 induce a que la adaptación podría producirse con éxito.

Los médicos coordinadores se encuentran infradotados en las franjas de 8 a 11, en especial, en los meses de alta actividad (enero, julio, agosto y diciembre) y sobredimensionados en las franjas de 14 a 17. Aunque el número total de efectivos sea prácticamente coincidente, tanto en los modelos de colas como en la programación real, lo que se produce es una compensación entre franjas y meses. El cálculo de los modelos de colas plantea mejoras en sus medidas de desempeño, destacando el porcentaje de escuchas perdidas, que pasa del 11,1% al 4,46%; esto supone una mejora en el proceso

de atención de las llamadas de emergencia, induciendo un menor tiempo de ocupación en el teleoperador.

Del análisis de la red de colas acíclica de Jackson se deduce que la actividad del médico coordinador se conforma como el cuello de botella del flujo de operaciones, o lo que es lo mismo, de variaciones en la demanda surgirán variaciones notables en la actividad del médico coordinador. La aplicación de modelos de red de colas implica que cuando se pueden establecer relaciones funcionales entre los puestos, es posible determinar, aunque sea aproximadamente, el efecto que podría producir incrementos de llamadas en las necesidades de recursos, para así poder equilibrar el nivel de servicio. Para ello, bastaría con conocer la tasa de entradas, tiempos de servicio, y sus distribuciones, con objeto de poder aplicar los modelos explicitados. En alta actividad (franjas de más de 120 llamadas por hora), los médicos coordinadores están cerca del límite máximo de ocupación, sin embargo, en baja actividad los recursos humanos disfrutan de una carga razonable de acuerdo al nivel de servicio deseado. No se ha podido realizar un análisis exhaustivo de todas las franjas y meses desde la óptica de la red de Jackson, pero los resultados muestran que se producen transferencias de cargas de trabajo del teleoperador al médico coordinador y operador de radio. El enfoque de redes de colas no suele estar presente en los estudios relacionados con la operativa de *call center*, lo que supone una novedad metodológica prometedora que permite la contrastación de la robustez de los resultados de los modelos de colas convencionales.

Una vez conocidas las necesidades de personal (dimensionamiento) en los intervalos de tiempo considerados para el *call center*, el siguiente paso es optimizar las incorporaciones de teleoperadores y médicos coordinadores para minimizar el *gap* entre necesidades y posibilidades de contar con esos profesionales, teniendo en cuenta las condiciones laborales de cada modalidad de puesto (*scheduling*) que se estudia en el capítulo 5. El núcleo del problema es asignar las personas necesarias en el momento oportuno para dar respuesta a las necesidades de los clientes y usuarios.

La programación de horarios implica tener en cuenta las condiciones laborales fijadas en convenios colectivos y legislación laboral, que suelen concretar un determinado régimen de descansos, pausas y tiempos entre jornadas; estos limitan la disposición de recursos humanos en orden a hacer factible la conciliación de la vida personal, familiar y laboral de los empleados.

Dado un comportamiento irregular de la demanda, que varía fuertemente entre las horas de cada día y con presencia de estacionalidad mensual, junto con las limitaciones mencionadas de disposición de personal, se hace muy complejo encontrar un conjunto de horarios que en todo momento equilibre la oferta con la demanda. Sin embargo, es posible calcular cuántos empleados estarán disponibles, cumpliendo con el mínimo de necesidades requeridas. En el mejor de los casos coincidirán las necesidades con los disponibles, pero generalmente se darán intervalos de tiempos de atención al cliente en los que los empleados disponibles serán mayores que los mínimos necesarios. Si los excesos fuesen demasiados, la vía de solución vendría dada por la violación de algunas de las restricciones en aquellos horarios de atención que afectasen menos al nivel de servicio, es decir, aquellos que repercutan menos en una atención adecuada a los clientes y usuarios.

Las cuestiones más relevantes que afectan a la duración de la jornada laboral son las siguientes:

- a) Teleoperador y Operador de radio: trabajan 1.764 horas en cómputo anual, siendo los turnos máximos de 12 horas y los mínimos de 4 horas. Es posible realizar refuerzos

que no pueden ser inferiores a 3 horas. Los descansos durante la jornada son de 30 minutos para los que estén entre 12 y 9 horas, de 20 minutos para los que trabajen entre 8 y 6 horas, y 10 minutos para los de duración entre 5 y 4 horas. Además, en todos los casos ha de producirse un descanso de 5 minutos por cada hora efectiva de trabajo por motivo de pausa de visualización de datos (PVD).

- b) Médico coordinador: trabajan 1.452 horas en cómputo anual, siendo todos los turnos de 12 horas. Descansan 30 minutos para almuerzo o cena.

Para la resolución de la programación de horarios se propone la aplicación de la programación lineal entera, dado que proporciona una solución exacta, si existe, y no óptimos locales como las herramientas metaheurísticas.

Se plantea como función objetivo minimizar el total de horas de teleoperación y médico coordinador contratados (equivalente a minimizar los costes totales de contratación de puestos). Analíticamente:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^3 \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^h \sum_{k=1}^{12} P_{itjk} X_{itjk}$$

s. a.

$$Y_{itk} \geq b_{itk}$$

$$X_{itjk} = \text{positivo y entero}$$

siendo:

X_{itjk} = cantidad de puestos de la modalidad i ($i=1, 2, 3$), es decir, teleoperador, médico coordinador y operador de radio, trabajando en el período de tiempo t ($t=1, \dots, T$), en un tipo de turno j ($j=1, \dots, h$), y que trabajarán en el mes k ($k=1, 2, \dots, 12$) del año. X_{itjk} enteros y no negativos.

P_{itjk} = Duración de la jornada laboral del puesto de la modalidad i ($i=1, 2, 3$), en el tipo de turno j ($j=1, \dots, h$), el mes k ($k=1, \dots, 12$) y que trabaja en el intervalo t ($t=1, \dots, T$) (equivalente a factor de coste asociado a contratar un puesto de modalidad i).

Y_{itk} = cantidad de personal de cada puesto de la modalidad i ($i=1, 2, 3$), presentes en el intervalo t ($t=1, 2, \dots, T$) el mes k ($k=1, \dots, 12$), según la disposición de horarios.

$$Y_{itk} = \sum_{j=1}^h X_{itjk}$$

b_{itk} = número de personas necesarias por cada puesto i ($i=1, 2, 3$), en el intervalo t ($t=1, \dots, T$), en el mes k ($k=1, \dots, 12$). Esta información se calculó en el capítulo 4, como el número de personas necesarias en cada intervalo horario de cada mes.

Para el puesto de teleoperador y operador de radio se ha obtenido una gran variedad de horarios de aplicación que incrementarían el coste en un 4,90% respecto a las necesidades y un 9,32% para el modelo que considera una mayor estabilidad de turnos, con objeto de tener en cuenta la satisfacción del personal. De un lado esa gran variedad implica que ha de acudirse a formas de flexibilización de la jornada laboral, tales como cuentas de horas o anualización de las jornadas de trabajo, en las que deben yuxtaponerse jornadas largas con cortas. El convenio colectivo prevé una distribución irregular de la jornada con máximos en cómputo semanal, y acuerdos con trabajadores. De otro lado, el incremento de coste ha de evaluarse en términos de restricción presupuestaria, ya que si no es posible aceptarlo caben, al menos, dos posibilidades: bien recalcular las necesidades rebajando los niveles de servicio para que los

incrementos de personal se puedan absorber presupuestariamente, bien analizar los periodos de mayor desajuste para estudiar la posibilidad de violar algunas restricciones en esas franjas y meses sin que afecte de manera notable al nivel de servicio.

Para los médicos coordinadores se han obtenido un amplio conjunto de horarios que minimizan las necesidades con idea de poner de manifiesto la escasa flexibilidad de turnos exclusivos de 12 horas. En el intervalo de turnos de 12 horas a 8 horas es posible encontrar combinaciones que ajustan las necesidades a los requerimientos.

Una aportación interesante, dado que el objetivo ha sido obtener un conjunto de horarios que minimice la cantidad necesaria de personal, para un nivel de servicio dado, es que se tiene un punto de partida para cuantificar los cambios que deban hacerse en una negociación con los empleados o con las empresas subcontratistas. Es decir, ceder a determinados horarios no incluidos en los calculados va a suponer mayor coste de los servicios y además se sabrá cuantos recursos financieros adicionales serán necesarios.

Las franjas horarias de mayor desajuste se corresponden con baja actividad, que es cuando menos personas se necesitan, debido a que el efecto relativo del disponer de alguna persona más trabajando es mayor que cuando se produce en franjas de baja actividad. Con respecto a los meses, se ha conseguido estabilizar, sin que los desajusten sean muy dispares según el tipo de mes, por lo que la metodología es robusta para la segmentación en meses.

En cada uno de los capítulos, que van resolviendo fases secuenciales en la planificación de un *call center*, se plantean diversas líneas futuras de investigación. En el capítulo 1, centrado en la descripción y análisis de las operaciones del *call-center* de emergencias sanitarias (*call center metrics, performance measurement, workflow*), resulta interesante la realización de un estudio de métodos y tiempos que permita valorar la eficacia de los planes de operación y mejoren el conocimiento de los tiempos de atención de los diversos puestos involucrados (teleoperador, médico coordinador y operador de radio). Con esta información y la procedente del resto de capítulos de esta tesis se estaría en condiciones de valorar la eficacia de la aplicación de metodologías procedentes del *Management* empresarial tales como el análisis de procesos, diagramas causa-efecto, diagramas de Pareto y AMFE (Análisis Modal Fallo Efecto).

Las futuras líneas de investigación en el análisis de llamadas perdidas (*abandonment, impatience*) del capítulo 2 sugieren otras metodologías alternativas, tales como los modelos multinivel, en los que se podría descomponer la varianza de acuerdo a factores que influyen en el nivel micro de cada llamada y un segundo nivel sobre franjas y meses, por lo que la aplicación de modelos multinivel de clasificación cruzada podrían arrojar luz sobre el mecanismo generador de datos necesario para aplicar sobre modelos de colas que optimicen el dimensionamiento. La aplicación de los modelos multinivel supondría un puente entre el primer bloque metodológico (análisis de supervivencia) y el segundo (pronóstico de llamadas por cada franja de cada mes), lo que supondría una novedad metodológica ya que no se conocen trabajos publicados en esta línea de investigación.

Las líneas futuras de investigación sobre el pronóstico de la demanda (*forecasting*) del capítulo 3 abren un amplio abanico de posibilidades, así dos extensiones posibles con los pronósticos calculados pueden ser, en primer lugar, la aplicación de algún método *top-down* (Taylor, 2008) para la asignación de llamadas a intervalos mensuales y por franjas horarias, que sería un complemento e *input* adecuado a los modelos de colas del capítulo 4 (desde la perspectiva de magnitudes previstas), que se basan en estados estacionarios por meses y franjas horarias. En segundo lugar, se pueden aplicar métodos

de combinación de los pronósticos de los modelos al objeto de obtener resultados más precisos, aprovechando las mejores características de cada uno de ellos. Asimismo, una alternativa que podría mejorar las previsiones, es el pronóstico de las llamadas recibidas por tipo de línea (061, 112, urgencias, transporte, y otras), para poder contar con información más detallada. También sería interesante explorar la complementariedad de los pronósticos de llamadas perdidas del capítulo 2 con los actuales de llamadas recibidas, para determinar el número de llamadas atendidas, es decir, la demanda satisfecha.

En cuanto a la aplicación de otras metodologías para el pronóstico mensual de las llamadas recibidas, sería interesante la estimación de modelos de vectores autorregresivos (VAR), dada la flexibilidad que permiten al no ser necesario especificar una forma funcional inicial ni basarse en relaciones teóricas a priori (Pérez, 2006). Los modelos de cointegración, con los datos actuales, son de difícil implementación, dado que los órdenes de integración de las series (para hacerlas estacionarias) son distintos, pero la evolución a la baja de llamadas en 2008 conduciría a su posible consideración, de este modo, sería posible estimar las relaciones estables a largo plazo entre las variables (Pérez, 2006). La aplicación de los filtros de Hodrick-Prescott, y de Kalman podría considerarse, en la medida que se disponga de una serie con más observaciones (Cáceres *et al*, 2008). Para finalizar, existen múltiples trabajos de previsión basados en redes neuronales artificiales (RNA) que ofrecen resultados prometedores, aún reconociendo su posible aportación, plantean la dificultad de medición de muchas variables y la selección para la fase de entrenamiento (Martín, 2003), así como problemas de sobreparametrización.

La aplicación de otras metodologías para pronósticos de llamadas en intervalos más pequeños de tiempo sugiere que un abordaje muy útil en la planificación diaria de llamadas recibidas es el pronóstico en intervalos de una hora o inferiores, para ello podrían aplicarse modelos ARFIMA, que permiten un orden de integración fraccionado y por tanto poseen “memoria larga”, así como modelos SETAR y GARCH (Peña, 2005). También pueden ser de aplicación modelos con splines cúbicas para detectar estacionalidades mensuales, semanales, diarias y horarias. Martín (2008) analiza la estacionalidad de la demanda intradiaria de un servicio de urgencias hospitalario. En series financieras se ha implementado la hipótesis fractal y teoría del caos⁴ (Doldán, 2007), que permite obtener tanto relaciones a corto plazo (series diarias o inferiores en tiempo) como a medio y largo plazo (meses, años). Estas series poseen características parecidas a un camino aleatorio y movimiento browniano, pero también poseen una estructura de oscilaciones que reaccionan ante cambios externos. Por ello sería plausible su aplicación a las series de llamadas de un *call center*.

⁴ El Caos es una propiedad de muchos sistemas dinámicos no lineales cuyo concepto fundamental es determinar si es o no posible pronosticar el futuro de tales sistemas a partir de los datos actuales y con qué exactitud. La teoría del caos es la ciencia del proceso, el intento del conocimiento de lo que va a suceder, no de lo que es o de lo que permanecerá. Con ella lo desconocido se interpreta desde un punto de vista global, dejando de considerarlo desde el punto de vista del orden. Se interesa por lo aleatorio, lo complejo, los saltos súbitos de estado a partir de las bifurcaciones, intermitencias, complejidades y autoorganización. Incluye en su estudio la dimensión fraccional (fractal) que se refiere a la dependencia existente entre la cuantía de una medida y la escala utilizada para obtenerla. Este concepto es aplicable también al tiempo, en el que coexisten determinismo, aleatoriedad, orden y caos. Para medir la memoria de una serie temporal puede aplicarse el movimiento browniano, similar al movimiento errático de una partícula suspendida en un fluido que se resume con la fórmula $R=T^{1/2}$ donde R es la distancia recorrida por la partícula y T el tiempo invertido en el recorrido. Esta fórmula expresa la actualización de valores observados en determinados periodos de tiempo. El valor del exponente es 0,5 (1/2), sin embargo es posible probar con otros valores del exponente que capten mejor las oscilaciones de las series de datos, por lo que la formulación de la hipótesis fractal incluye el movimiento browniano como caso particular de otros movimientos de la serie temporal, que para datos de alta frecuencia es una alternativa muy interesante dados posibles comportamientos regulares por minutos, horas, días, semanas, meses y años.

Las futuras líneas de trabajo y avances en el dimensionamiento de las necesidades de personal del capítulo 4 (*Staffing*) pasan por la consideración conjunta de las actividades de los distintos puestos de trabajo, así la extensión de la red de colas a todas las franjas y meses mejoraría el conocimiento de las cargas de ocupación. También la aplicación de modelos de simulación de eventos discretos para analizar el funcionamiento global del *call center*, por ejemplo Gans *et al* (2003) se plantean una metodología consistente en que en primer lugar podría simularse el desempeño del sistema de colas y posteriormente aplicar modelos analíticos para refinar el cálculo de necesidades de personal de acuerdo a los niveles de servicio que se deseen ofertar.

En el problema de la optimización de plantilla (*Scheduling*) del capítulo 5, una línea de investigación futura interesante es la aplicación del planteamiento del modelo a horarios fijados entre las partes, y en especial, afrontar el problema de *rostering* a partir de las soluciones obtenidas, planteando una función objetivo que minimice el coste de asignar una persona (variable binaria que toma valor 1 si es asignado y 0 si no lo es) al conjunto de semanas, días, meses, turnos y modalidad de puesto. De forma jerárquica, una vez resuelto el problema anterior, se toma como entrada para resolver una nueva función objetivo que maximice las preferencias de las personas por determinados turnos, con las mismas restricciones anteriores. Otra línea interesante de extensión del problema de la optimización de plantillas sería aplicar modelos de decisión multicriterio, tales como programación multiobjetivo, compromiso y por metas, que consideran las violaciones de las restricciones de forma más flexible y permiten incluir otros aspectos, como las preferencias de los gestores, niveles de servicio, costes, medidas de desempeño de las operaciones, e incluso niveles de riesgo de las decisiones.

En conclusión, la utilización conjunta de los distintos métodos de análisis aplicados en los cinco capítulos genera sinergias en el conocimiento de las operaciones en el *call center*, los mecanismos que provocan la pérdida de llamadas, los escenarios de demanda de emergencias sanitarias, el dimensionamiento adecuado al nivel de servicio ofertado, la optimización de plantilla teniendo en cuenta las necesidades de personal por franja y mes. Contribuyendo todo ello a una mayor eficiencia en la planificación a medio plazo de los recursos humanos disponibles, reduciendo costes y mejorando la calidad simultáneamente. Su desarrollo mediante *software* estándar, disminuye los costes de aprendizaje y aplicación de forma estable y periódica en los centros de emergencias. Aunque los resultados obtenidos son de aplicación al centro de atención de llamadas de EPES, la metodología es extrapolable a cualquier *call center* ya que se han planteado toda una gama de modelos alternativos y complementarios en cada capítulo, que pueden instrumentalizarse atendiendo a las características particulares de cada *call center*, por lo que no es posible recomendar exclusivamente alguno de ellos, sino que han de probarse para cada caso concreto dentro del amplio marco metodológico expuesto

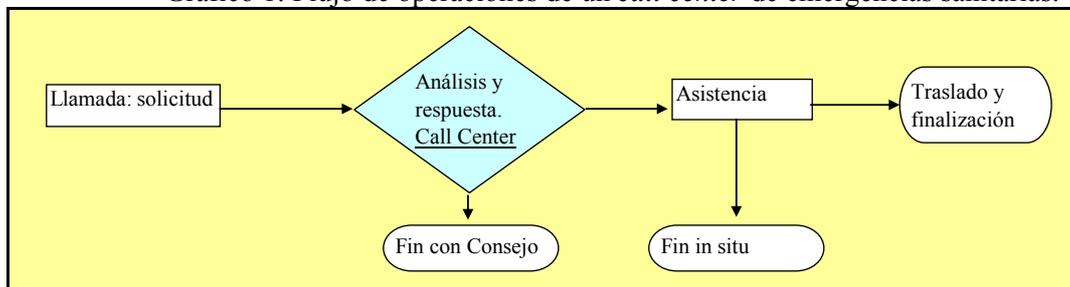
INTRODUCCIÓN

“La investigación no se debe concentrar en buscar soluciones exactas a problemas erróneos sino en aproximar soluciones a problemas correctos”

J. Tukey

En los sistemas sanitarios de los países desarrollados es habitual la prestación de asistencia prehospitalaria y transporte de pacientes mediante atención telefónica en un *call center*, con movilización de ambulancias si es necesario. El número de marcación reducida 112 atiende toda clase de emergencias en general, el número 061 se aplica en España para la atención de emergencias sanitarias, y el 911 en Norteamérica para todo tipo de emergencias. La demanda de este tipo de servicios aumenta continuamente como consecuencia del incremento y envejecimiento de la población, lo que ha conducido a que los presupuestos destinados a cubrir la atención prehospitalaria hayan crecido sistemáticamente, afectados también por la incorporación de avances tecnológicos. Los centros de llamadas de emergencias sanitarias se han convertido en una tercera puerta de entrada a los sistemas sanitarios que ejercen influencia sobre atención primaria y especializada, las personas demandantes que se encuentran en una situación de urgencia o emergencia realizan una llamada y su situación puede ser resuelta bien con consejos sanitarios, bien con movilización de algún recurso (Gráfico 1).

Gráfico 1: Flujo de operaciones de un *call center* de emergencias sanitarias.

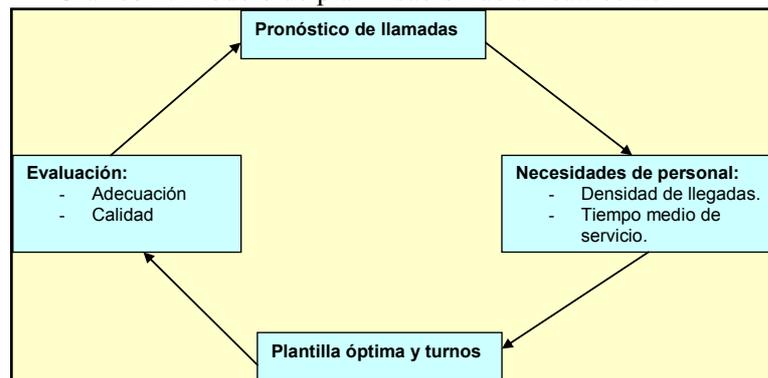


Fuente: Elaboración propia.

El *call center* se configura como el “cerebro” de las operaciones a realizar para coordinar el conjunto de medios y recursos destinados a satisfacer las necesidades de los usuarios, siendo el objetivo del mismo proporcionar unos servicios adecuados (medidos habitualmente en porcentaje de llamadas atendidas antes de un número de segundos preestablecido, y porcentaje de llamadas perdidas) a un coste razonable, que es aquel que minimiza los costes de personal y tecnología para un nivel de servicios determinado.

Aunque tradicionalmente el enfoque adoptado, por las empresas e instituciones que prestan los servicios prehospitalarios, es la consideración de un trabajo eminentemente médico (Tubaro *et al*, 2012; Widimsky *et al*, 2010) prestando poca atención al equilibrio nivel de servicios-costes y dejando en manos de empresas subcontratistas la planificación del centro de atención de llamadas, la evolución del volumen de servicios y el actual contexto de restricción presupuestaria como consecuencia de la profunda crisis económica, invitan a que deban explorarse las posibilidades de mejoras de la prestación del servicio ya que la utilización de recursos públicos requiere un adecuado equilibrio entre eficacia de los servicios y eficiencia en la gestión.

De otro lado, la planificación de *call center* dispone de un marco de análisis reciente, en continuo desarrollo, y de reducida investigación debido a la irrupción de los teleservicios en los años 80 del pasado siglo, sin embargo actualmente se observa una amplia expansión de este tipo de servicios que relaciona a clientes y empresas, reduciendo los costes de transacción (Mandelbaum, 2006). El marco de análisis se expone en el gráfico 2, en el que las necesidades de plantilla se determinan atendiendo a la carga de trabajo calculada teniendo en cuenta el comportamiento de los tiempos de asistencia y volumen de demanda pronosticados.

Gráfico 2: Modelo de planificación de un *call center*

Fuente: Elaboración propia

Desde la óptica temporal de las decisiones que afectan al comportamiento de un centro de atención de llamadas (Gans *et al*, 2003), se pueden considerar:

1. Decisiones a corto plazo: son las tomadas para intervalos horarios, diarios y semanales y afectan a la programación de personal necesario teniendo en cuenta los comportamientos diarios y efectos atípicos (festivos, semana santa, navidad...).
2. Decisiones a medio plazo: se toman considerando las características mensuales y anuales de la demanda.
3. Decisiones a largo plazo: implican consideraciones superiores al año, y suponen la reorganización y rediseño de la prestación del servicio.

En esta tesis se adopta el medio plazo, pues conforma una óptica que apoya tanto a la planificación a corto plazo (p.e. asignando el número de llamadas mensuales a intervalos más cortos a través de alguna técnica top-down) como la planificación a largo plazo (agregando las observaciones mensuales es posible obtener tendencias y otras características que apoyan decisiones de reestructuración de los servicios), permitiendo la alineación con la elaboración de presupuestos que suele tener carácter anual y seguimiento mensual, evitando la “linealización” mensual de los importes presupuestados y mejorando por tanto el seguimiento de acuerdo a la demanda efectiva y oferta de servicios.

Esta tesis se ha desarrollado en el contexto y los sistemas de información del *call center* de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias (EPES) que es una Agencia Pública dependiente de la Consejería de Salud de la Junta de Andalucía (España), cuya misión, básicamente, es garantizar una atención en urgencias y emergencias prehospitalarias, disponiendo de un *call center* en cada provincia y diversos tipos de ambulancias. En su *call center*, el recurso más importante es el empleo de personal, igualmente, disponer de tecnología (software, centralita telefónica,...) es imprescindible para gestionar rápidamente las demandas de los usuarios. En la operativa interactúan 3 modalidades de puestos de trabajo, que son, el teleoperador, operador de radio, y médico coordinador. Los dos primeros se subcontratan a una empresa especializada, y el médico es plantilla de EPES, suponiendo el coste de personal el 70% de los gastos de explotación del centro aproximadamente.

En un contexto de asistencia sanitaria universal, pública y de calidad en el que opera EPES adquiere especial relevancia un uso eficiente de los recursos dado un nivel de prestación de servicio adecuado a la gravedad de los usuarios en situaciones de emergencia sanitaria, los que en pocos minutos pueden sufrir una situación irreversible

o de secuelas muy importantes que afectará notablemente a su productividad como recurso humano y a su calidad de vida personal, además de los efectos que podría producir en los niveles asistenciales de primaria y especializada, e incluso en el sistema de atención a la dependencia. Por ello, tanto una rápida atención telefónica, que no se pierdan llamadas, y que se coordinen los recursos necesarios en muy poco tiempo requiere de un dimensionamiento de personas que se adapte a una demanda cambiante por meses, horas y días de la semana. El número de personas necesarias en los distintos tipos de puestos de atención es lógicamente un problema técnico, pero también es un problema económico ya que los recursos humanos y financieros son limitados, por lo que ha de buscarse el *trade-off* entre nivel de servicio y costes de su prestación.

El campo de la Economía de la salud y la gestión sanitaria puede aportar poderosas técnicas para la mejora y optimización de la gestión de recursos de un *call center* combinado metodologías econométricas y de investigación de operaciones.

El objetivo central de este trabajo se resume en diseñar y contrastar un modelo de optimización a corto y medio plazo de la gestión de un *call center* de llamadas de emergencias sanitarias utilizando de forma sinérgica distintas técnicas de investigación operativa y econométrica. En la tabla 1 se exponen los objetivos de cada capítulo y la metodología aplicada.

Tabla 1: Objetivo de la tesis

Capítulo y Objetivo	Metodología
1. Diagnóstico del Sistema de información para la gestión y medición de eventos y tiempos relevantes. (<i>Call center metrics, performance measurement, Workflow</i>)	Diagrama de bloques funcional y análisis estadístico descriptivo (frecuencias absolutas y relativas, medidas de tendencia central, dispersión, histogramas, diagramas de tallo y hojas).
2. Desarrollar modelos de comportamiento de llamadas perdidas e impaciencia de los usuarios. (<i>Abandonment, Impatience</i>)	Impaciencia: Modelos de supervivencia no paramétrico (<i>Kaplan-Meier, Splines</i>), semiparamétricos (Regresión de <i>Cox</i>), Paramétricos (Exponencial, Normal, Logístico,..., y Modelos de Fallo Acelerado).
	Pronóstico de llamadas perdidas: estudio previo con Análisis en Componentes Principales y Cluster Jerárquico, Regresión lineal múltiple, Modelos Lineales Generalizados (Regresión de <i>Poisson, Tweedie</i> , Binomial negativa, Normal identidad y con enlace logaritmo).
	Instrumento de clasificación de llamadas: Análisis discriminante, Regresión logística binaria, Redes Neuronales (Perceptrón multicapa y Red de Base Radial).
3. Pronóstico de la Demanda. (<i>Forecasting</i>)	Modelo clásico de descomposición Armónico multiplicativo con análisis espectral. Modelo clásico de descomposición estacional X-11. Modelo de alisado de triple parámetro de <i>Winters</i> . Modelo Arima con análisis de intervención de meses estivales. Modelo Arima con función de transferencia gripe. Modelo estructural armónico con gripe, pernoctaciones y población.
4. Necesidades de personal. (<i>Staffing</i>)	Identificación de estados estacionarios con Test de <i>Kruskal-Wallis</i> , Análisis Discriminante y Test de <i>Kolmogorov-Smirnov</i> . Modelos de colas Erlang C (M/M/S), Erlang A (M/M/S+k) y Red de colas acíclica de Jackson
5. Optimización de plantilla. (<i>Scheduling</i>)	Programación lineal entera, modelo general y modelo que tiene en cuenta la satisfacción del personal con horarios más homogéneos.

Fuente: Elaboración propia

Consecuencia de este planteamiento es la estructura que se sigue con un enfoque integral y jerárquico en la consecución del objetivo, así en primer lugar es necesario tener un conocimiento del trabajo que se realiza en el *call center*, por lo que en el capítulo 1 se desarrolla el proceso operativo de atención de las llamadas con elaboración de un diagrama de bloques funcional (“*Workflow*”), y realización de un análisis exploratorio y estadístico descriptivo de las operaciones y tiempos de las mismas (“*call center metrics*” y “*performance measurement*”), resultando una demanda y tiempos de atención variables por meses, franjas horarias y tipos de línea de atención. El capítulo 2 está dedicado al análisis de las llamadas perdidas (“*Abandonment*”), evento de especial importancia debido a sus características de demanda insatisfecha, los efectos sobre

pacientes de especial gravedad y por ser uno de los indicadores de desempeño más relevantes, sirviendo además de información complementaria y básica para los capítulos 3 y 4 respectivamente. El abordaje se realiza sobre la base de tres bloques metodológicos que por medio de análisis de supervivencia, pronóstico de llamadas perdidas, y clasificación de las llamadas en atendidas y perdidas, permiten conocer las características de los tiempos de impaciencia de los usuarios, las variables que influyen para que se pierdan llamadas en cada momento temporal, y el establecimiento de un método que permita prever la probabilidad de pérdida de una llamada concreta, arrojando los resultados una impaciencia (“*Impatience*”) variable por tipos de línea y franjas horarias, un efecto muy importante del dimensionamiento sobre las llamadas perdidas y un instrumento de clasificación razonable con la red neuronal del tipo perceptrón multicapa.

El capítulo 3 trata el primer paso en la obtención del objetivo central que es identificar y evaluar modelos de análisis de series temporales que mejoren el pronóstico del número de llamadas recibidas (“*forecasting*”), para ello se plantean seis modelos que van desde los clásicos de descomposición hasta los ARIMA y Estructural, cuya visión conjunta aporta alternativas de cursos de acción a seguir en la toma de decisiones, sirviendo de input inicial del capítulo 4, que estudia el segundo paso, dedicado al cálculo de las necesidades de personal (“*Staffing*”), para lo que se analizan los comportamientos de llamadas recibidas y los tiempos de atención o servicio en intervalos de horas y meses, aplicando una metodología de identificación de estados estacionarios, los modelos de teoría de colas Erlang-C (tradicional de la industria del *call center*), Erlang-A (incluye la impaciencia y llamadas perdidas), y un modelo de Red de colas de Jackson al objeto de identificar cuellos de botella, con resultados que mejoran las medidas de rendimiento actuales.

Finalmente en el capítulo 5 se toma como información inicial la procedente del capítulo 4 con objeto de determinar el conjunto de horarios y plantilla óptima (“*Scheduling*”), teniendo en cuenta el desarrollo de la actividad laboral en cuanto a turnos, descansos, vacaciones, y otras circunstancias del convenio colectivo, aplicando dos modelos de programación lineal entera que minimizan el coste de personal asociado a los niveles de servicio de la prestación, consiguiendo que el exceso de personal sea inferior al 5%. Aunque los resultados obtenidos son de aplicación al centro de atención de llamadas de EPES, la metodología es extrapolable a cualquier *call center* ya que se han planteado toda una gama de modelos que pueden instrumentalizarse atendiendo a las características particulares de cada *call center*, por lo que no es posible recomendar exclusivamente alguno de ellos, sino que han de probarse para cada caso concreto dentro del amplio marco metodológico expuesto.

De la materia estudiada en el capítulo 3 se ha publicado un artículo titulado “Evaluación de modelos de series temporales para la previsión de la demanda de emergencias sanitarias” en la revista Emergencias que se adjunta como anexo I, cuya relevancia y aportación consiste en la evaluación de diversos métodos de pronóstico de la demanda que ayudan a la toma de decisiones a corto y medio plazo en la planificación de los recursos del centro de atención de llamadas de EPES, siendo una metodología extrapolable a cualquier *call center* de emergencias sanitarias. Además está previsto publicar tres trabajos más, el primero relacionado con el capítulo 2 de llamadas perdidas en la revista *Resuscitation*, otro relacionado con el capítulo 4 de dimensionamiento de necesidades de personal en la revista Emergencias, y finalmente uno relacionado con el capítulo 5 de optimización de plantilla en la revista Gaceta Sanitaria.

En resumen, el estudio conjunto de los resultados de los modelos supone tender un puente entre los desarrollos teóricos y la aplicación práctica al servicio de los *call center* de emergencias sanitarias, que son un elemento clave para una estrategia sostenida de mejora y creación de valor en el sistema sanitario público, permitiendo una planificación alternativa de recursos, una asignación presupuestaria más eficiente y una mejora del proceso de toma de decisiones, adoptando fundamentalmente un enfoque prescriptivo, es decir, presentando una serie de instrumentos analíticos de ayuda y aplicación inmediata, apoyado en el uso de *software* estándar y en ocasiones *freeware*, más que un enfoque positivo (intentar explicar como se comportan los *call center* de emergencias sanitarias) o un enfoque normativo (cómo deberían de comportarse bajo ciertas condiciones).

**CAPÍTULO 1.- LA PRESTACIÓN DE SERVICIO DEL *CALL CENTER* DE
EMERGENCIAS SANITARIAS**

"La práctica debe siempre ser edificada sobre la buena teoría."
Leonardo Da Vinci

INTRODUCCIÓN

En los sistemas sanitarios de los países desarrollados es habitual la prestación de asistencia prehospitalaria y transporte de pacientes mediante atención telefónica en un *call center*, con movilización de ambulancias si es necesario. El número de marcación reducida 112 atiende toda clase de emergencias en general, el número 061 se aplica en España para la atención de emergencias sanitarias, y el 911 en Norteamérica para todo tipo de emergencias. La demanda de este tipo de servicios aumenta continuamente debido a las características demográficas (incremento y envejecimiento de la población) y como consecuencia de ello los presupuestos destinados a cubrir la atención prehospitalaria. Por ello, la planificación y prestación de los servicios prehospitalarios adquiere especial relevancia en los momentos actuales de profunda crisis económica, al objeto de presupuestar una asignación eficiente de recursos.

El diseño de los servicios médicos de emergencia (SME) se ha ido desarrollando de manera diferenciada en los países, e incluso en las regiones de cada país, influenciado por las diferentes características sociales, geográficas, organizativas, y de política sanitaria de cada país y región. Se pueden diferenciar tres tipos de modelos (Álvarez, 1996):

a) Modelo angloamericano: en el que se inicia la coordinación de las actuaciones extrahospitalarias con la intervención de personal médico solo en ocasiones, prestándose la atención *in situ* por personal paramédico.

b) Modelo franco-germano: el objetivo es “acercar el hospital al paciente”. Los recursos móviles están dotados de personal médico que atiende al paciente donde se encuentre, con la intervención o no de médico de coordinación.

c) Modelo 061, propio del Estado español: que se basa en la filosofía del anterior modelo, diferenciándose en la participación del médico coordinador en el centro de atención de llamadas o *call center*.

Aunque existen diferencias en cuanto a los tipos de recursos móviles, de personal y organización de la prestación total del servicio, es posible encontrar un esquema de funcionamiento común. En todos ellos existe un centro de atención telefónica dotado de personal teleoperador y médico que gestiona la demanda y moviliza recursos o asesora al paciente (Hesculaep, 2005).

En los últimos años se observa una tendencia generalizada hacia modelos con una menor presencia médica en la fase de la llamada, que se sustituye por la elaboración de protocolos telefónicos. Estos protocolos consisten en algoritmos de respuesta que priorizan la prestación del servicio, alertando los recursos que deban mobilizarse.

Una característica común de los *call center* de emergencias sanitarias es la gama de actividades que realizan 24 horas al día, 365 días al año. Atienden las emergencias y urgencias extrahospitalarias, pero también pueden transportar pacientes críticos entre hospitales o realizar seguimientos epidemiológicos.

La utilización de *call centers* para poner en contacto clientes con oferentes se ha incrementado en los últimos años (atención al cliente sector de Seguros, Banca, Administración Pública...). En el sector sanitario se ha convertido en una puerta de entrada al sistema sanitario, de importancia crucial para la vida y posteriores secuelas de los afectados por patologías de emergencia. El trabajo que se lleva a cabo en el centro

de atención de llamadas es considerado eminentemente sanitario, porque el médico coordinador aplica criterios médicos para tomar sus decisiones, debiendo además formarse en una serie de habilidades no habituales en la práctica asistencial.

La apreciación de que el trabajo del *call center* es eminentemente sanitario ha supuesto que la mayoría de estudios se centren en los aspectos de los resultados de la actuación médica, y en especial en la fase de atención *in situ* al paciente, dejando un poco al margen la actuación del *call center*, en el que efectivamente hay una participación médica, pero en coordinación con teleoperadores debidamente formados. En Europa existen grandes diferencias en el uso de los SEM (Tubaro *et al*, 2012; Widimsky *et al*, 2010) y existen pocos estudios sobre la relación coste-efectividad de diferentes modelos de prestación de la asistencia prehospitalaria (*National EMS Advisory Council*, 2009). También son escasos los trabajos que abordan la eficiencia de los distintos modelos, es decir, los aspectos relacionados con el dimensionamiento y la calidad de servicio en situación real de operaciones; en definitiva, el análisis del proceso productivo orientado a minimizar los costes de acuerdo al nivel de servicio que se desee ofertar.

La primera fase de la atención prehospitalaria se realiza en un *call center*. El objetivo de este *call center* es proporcionar servicios adecuados a un coste razonable (medidos habitualmente en porcentaje de llamadas atendidas antes de un número de segundos preestablecido, y porcentaje de llamadas perdidas). El coste razonable es el mínimo (personal y tecnología), para unas necesidades de atención dadas. Esta forma de entender el proceso operativo de un centro de atención de llamadas de emergencias parte del modelo definido y proporciona la respuesta más eficiente vinculada al nivel de servicio (eficiencia productiva).

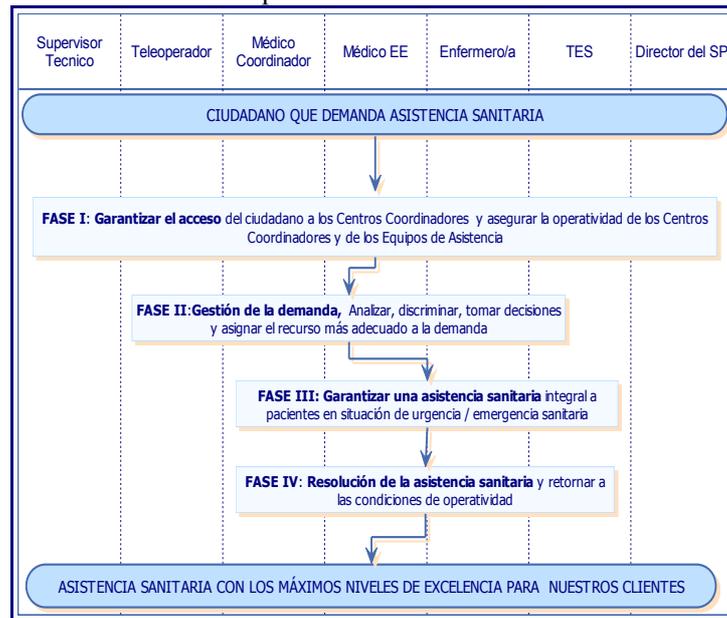
El primer paso para conocer la problemática de gestión en un centro de atención a las emergencias sanitarias consiste en describir los rasgos generales de la organización que permiten contextualizar la misión y los objetivos perseguidos por la misma.

La Empresa Pública de Emergencias Sanitarias (EPES) es un ente público dependiente de la Consejería de Igualdad, Salud y Políticas Sociales de la Junta de Andalucía (Ley 2/1994 de la Junta de Andalucía). La misión de EPES es garantizar una atención integral, personalizada y en tiempo adecuado a las urgencias y emergencias extrahospitalarias, facilitando la actividad del Sistema Sanitario Público de Andalucía (SSPA). EPES coordina y atiende las urgencias y emergencias extrahospitalarias, coordina la red de transporte urgente, realiza el transporte Interhospitalario de Pacientes en estado crítico, y otros programas de colaboración para toda la Comunidad Autónoma.

El centro de coordinación del Servicio Provincial de Málaga de EPES, es un *call center* que, en el ámbito provincial, atiende a las emergencias sanitarias prehospitalarias para una población de 1.600.000 habitantes, fundamentalmente, a través de la línea 061. También atiende a las emergencias sanitarias de la línea 112, a las urgencias sanitarias por vía del número 902505061, y gestiona el transporte sanitario urgente en colaboración con el Servicio Andaluz de Salud. Se realizan otras actividades de atención de llamadas, pero su importancia en volumen de trabajo es escasa.

En el gráfico 1.1 se puede observar que el proceso clave de atención sanitaria está dividido en cuatro fases:

Gráfico 1.1: Fases del proceso clave: Asistencia Sanitaria



Fuente: Manual del Procedimiento de Asistencia Sanitaria de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

La fase I (accesibilidad), describe las actividades que garantizan el acceso del ciudadano al proceso asistencial en EPES y las denominadas de soporte o apoyo. En la fase II (gestión de la demanda) se especifican las actividades que se realizan, los programas/protocolos que se utilizan en los centros de atención de llamadas de EPES para la gestión del proceso asistencial y de otros procesos de atención al ciudadano, así como aquellas personas que desarrollan el trabajo en los *call center* (médicos, teleoperadores, operador de radio, personal administrativo y supervisores técnicos). La fase III (asistencia sanitaria) describe la actuación clínico-asistencial para la asistencia sanitaria. En la fase IV (resolución) se procede a la reposición del material empleado y se realizan las labores de limpieza de equipos.

En el entorno actual de las relaciones entre clientes y empresas, el concepto de calidad de servicio se ha convertido en un requisito imprescindible. Un servicio de calidad ha de dar respuesta a las necesidades de los clientes, y en situaciones de emergencias sanitarias el tiempo es una variable esencial. Para la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Urgencia es la aparición fortuita en cualquier lugar o actividad de un problema de causa diversa y gravedad variable que genera la conciencia de una necesidad inminente de atención, por parte del sujeto que lo sufre o de su familia, siendo la Emergencia aquella situación urgente que pone en peligro inmediato la vida del paciente o la función de algún órgano (WHO, 2008). El hecho diferencial entre emergencia y urgencia es el tiempo, es decir, la emergencia requiere de una intervención inmediata, en un corto espacio de tiempo.

Las actuaciones que se catalogan como de emergencia se pueden resumir en:

1. Accidentes de tráfico, trabajo, domésticos de carácter grave (politraumatismos, ...)
2. Enfermedad coronaria aguda (infarto, Parada cardio respiratoria –PCR-...)
3. Enfermedad respiratoria aguda grave (crisis asmática severa,..)
4. Inconscientes (Accidentes cerebrovasculares graves, Ictus,...)

5. Hemorragias graves (hemorragia digestiva,...)

Este capítulo se centra en las actividades que se ejecutan en la fase II, es decir, la gestión de la demanda. Sin duda, prestar un servicio de calidad supone una adecuada concatenación de las cuatro fases descritas anteriormente, siendo el *call center* el “cerebro” del proceso de atención sanitaria.

Los objetivos a los que se dan respuesta en este capítulo son:

- 1) Detectar las necesidades de información no cubiertas por la explotación de datos actual del sistema de despacho de demandas.
- 2) Exponer una metodología de análisis descriptivo básico del *call center*, para ser extrapolada al resto de servicios provinciales de EPES en Andalucía.

En el primer epígrafe se describe la operativa de funcionamiento del *call center*, estableciendo un diagrama de bloques funcional de las actividades que sirve de base para la descripción de los eventos y tiempos del epígrafe 2, en el que se analiza la información de demandas, tiempos de atención de llamadas, tiempos posteriores a las llamadas, e indicadores de nivel de servicio, mediante un estudio estadístico descriptivo. Un epígrafe de conclusiones cierra el capítulo.

1.1.- PROCESO OPERATIVO DEL CALL CENTER EN LA EMPRESA PÚBLICA DE EMERGENCIAS SANITARIAS

Muchas empresas ofrecen sus productos y servicios a través de *call center* (aseguradoras, entidades financieras, televenta, Agencia Tributaria, emergencias...), de tal manera que un cliente o usuario realiza una transacción, comercial o no, telefónicamente. Sin embargo, cada centro de llamadas posee elementos diferenciadores importantes. La venta telefónica está íntimamente relacionada con los beneficios empresariales, los servicios de aseguradoras están relacionados con sus costes de explotación, en cuanto a reducción de inversiones en infraestructuras de atención, los servicios públicos, en general, quedan afectados por la imagen, por cuanto los tiempos de respuesta están vinculados con su eficacia y las repercusiones políticas de un mal funcionamiento.

En definitiva, niveles de servicio aceptables en la venta o incluso información fiscal de parte de la Agencia Tributaria, tales como atender el 90% de las llamadas en menos de 30 segundos, con un índice de llamadas perdidas del 10%, podrían no ser aceptables en un servicio de emergencias de carácter público, en el que sería deseable atender el 100% de llamadas en menos de 20 segundos, sin pérdida de llamadas.

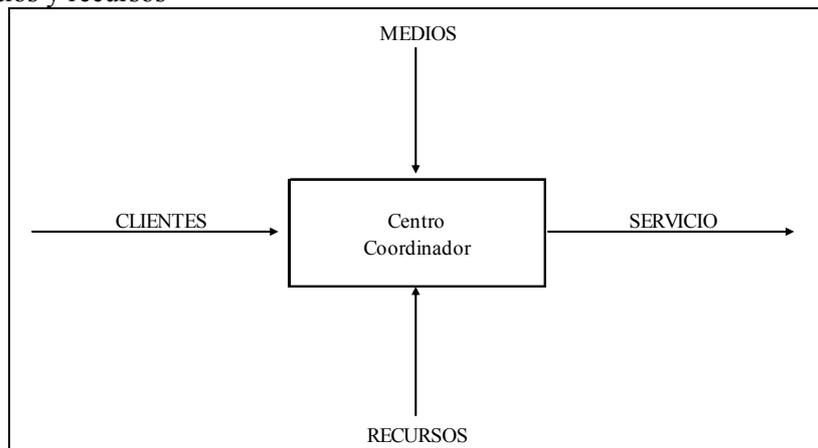
Otro hecho diferenciador es el que se refiere a las capacidades necesarias para atender la demanda. La mayoría de los centros de llamadas cuentan con teleoperadores o agentes que resuelven el servicio. En el caso de emergencias sanitarias, suelen intervenir tres niveles (teleoperador, médico coordinador, y operador de radio).

Se puede decir que el centro de atención de llamadas es el espacio donde teleoperadores, médicos coordinadores y operadores de radio realizan las actividades encaminadas a: 1) Recepción de llamadas, 2) Identificación de demanda, 3) Activación de los recursos necesarios, 4) Seguimiento de los casos, 5) Recepción de estatus (llamadas que informan de la ubicación y estado de la asistencia), 6) Resolución de la demanda.

En el diagrama de bloques funcional elaborado (ver anexo II) se describen las actuaciones según las tipologías de demandas, en el que observando el diagrama horizontalmente se puede seguir la secuencia de operaciones que se van produciendo y qué personal interviene, y observado verticalmente ofrece una idea del conjunto de responsabilidades que cada tipo de personal lleva aparejado en cada tipo de demanda. Esta modalidad de diagrama, ayuda a identificar inicialmente posibles alternativas de diseño de operación que quedarían ocultas en la lectura de un procedimiento.

El *call center* de emergencias sanitarias se puede describir desde las perspectivas de servicios, clientes, medios y recursos, tal como se aprecia en el gráfico 1.2.

Gráfico 1.2: El *call center* de emergencias sanitarias desde las perspectivas de servicios, clientes, medios y recursos



Fuente: Elaboración Propia, a partir de Consulting Adim S.L. “Reingeniería de procesos y costes ABC/ABM”. Valencia 1997.

1.1.1.- Servicios del *Call Center* de Emergencias Sanitarias

Los servicios son las soluciones aportadas a las demandas solicitadas. Se clasifican en:

1. Informativo: demandas de información que no generan ni movilización de recursos ni consejos sanitarios (Ej: farmacias de guardia, centros de salud, etc.).
2. Asistencial: requiere la aportación de un consejo sanitario o la intervención de recurso (ambulancia, helicóptero o equipo de emergencias).
3. Transporte Sanitario: transporte programado interhospitalario de pacientes críticos y transporte urgente que consiste en la activación de las unidades de los Dispositivos de Cuidados Críticos y Urgencias.
4. Consulta sanitaria: dudas de usuarios sobre la forma de proceder en una decisión sanitaria (p.e. medicación a tomar, seguimiento de pautas de post-operatorio,...).
5. Fax: para el caso de discapacitados sensoriales, comunicación alternativa para la resolución de su situación de urgencia y emergencia.
6. Emergencias colectivas: necesidad de asistencia sanitaria para múltiples víctimas por ocurrencia de un suceso (accidentes de tráfico con varios vehículos implicados, contaminación colectiva, incendio de edificio...).
7. Alerta epidemiológica: comunicación, según protocolo, de las alertas correspondientes al servicio de vigilancia epidemiológica.

8. Telemedicina: transmisión de electrocardiograma de ECA ⁵ (Equipo de Coordinación Avanzada) al *call center*.
9. Dispositivos de Riesgo Previsible: soluciones *ad hoc* preventivas, y de actuación ante posibles emergencias en acontecimientos de riesgo, o concentración alta de población (partidos de fútbol, ferias, ...). En general, este servicio está relacionado con la facturación del mismo, y no tiene un carácter recurrente.

1.1.2.- Clientes del *Call Center* de Emergencias Sanitarias

Los clientes son las personas que contactan con el *call center* solicitando una demanda, por cualquiera de las situaciones descritas en el apartado de servicios. Se pueden resumir por su origen en usuarios: a) en situaciones de emergencias, b) en situaciones de urgencias, c) con necesidades de consulta sanitaria, d) con necesidades informativas, e) Personal del SSPA con necesidades de transporte sanitario y f) Otras llamadas de usuarios y del SSPA.

El comportamiento de los clientes en una cola puede generalizarse de la siguiente manera: cuando se incorpora a la cola, ve la situación que ocupa, y opta por seguir en ella o salirse. A medida que ésta va avanzando, su estado de ánimo va mejorando, ya que ve que le queda menos tiempo de espera. Este tipo de comportamiento se da en colas visibles. No obstante, las colas para ser atendidos en un centro de llamadas, son invisibles (al menos, casi en su totalidad), por ello el fenómeno del estado de ánimo transcurre de forma inversa al caso anterior. Cuando se realiza una llamada, y por ejemplo, transcurren 15 segundos sin ser atendidos, el ánimo se va deteriorando, y si finalmente la llamada es atendida tras 30 segundos, la espera producirá un efecto negativo en el servicio. Es por lo que es tan importante fijar un nivel de servicio en consonancia con la necesidad de comunicarse del cliente. Así, la persona que llama a la compañía de seguros podría ser más tolerante que la que llama a un servicio de emergencias sanitarias.

Los factores de tolerancia del cliente aplicados al *call center* de EPES pueden resumirse en (Cleveland, 1997):

1. Grado de motivación: necesidad de comunicarse con el centro, así usuarios en situaciones de emergencias, están más motivados que los clientes de transporte sanitario.
2. Disponibilidad de alternativas: si los usuarios están muy motivados, y no logran contactar, tratarán de comunicarse por otros medios. En nuestro caso, un usuario podría utilizar la línea 112. Pero las alternativas son escasas.
3. Nivel de servicio de la competencia: puede afirmarse que no existe tal competencia.
4. Nivel de expectativas: depende de la experiencia previa y del conocimiento del nivel de servicio ofrecido por el *call center*. En un servicio de emergencias sanitarias se espera que los usuarios tengan un nivel elevado de expectativas.
5. Tiempo disponible: tiempo del que dispone el usuario para contactar con el centro. Este es un factor que nuevamente presiona el nivel de servicio porque en situaciones de emergencias, el usuario no repara en llamar más tarde, necesita

⁵ El ECA es un equipo asistencial formado por técnico de emergencias y enfermero que, en ocasiones, apoya su diagnóstico con la intervención del médico coordinador del centro de atención de llamadas.

contactar de forma inmediata. Esta es una diferencia esencial con respecto a otros tipos de *call center* (aseguradoras, bancos,...).

6. Coste de la llamada: se sabe que existen centros de llamadas de información, que el coste de la llamada va por cuenta del cliente, y a tarifas especiales, y eso influye en su estado de ánimo. En la EPES el coste de la llamada es compartido, de manera que el usuario sólo cubre el coste de una llamada local. Éste es un factor de tolerancia que no produce insatisfacción en el usuario.
7. Comportamiento humano: el clima, estado de ánimo, hora del día, día de la semana, y otros, afectan la tolerancia del cliente. En el caso de emergencias sanitarias, este factor se presenta muy acusado ya que el llamante suele estar en un estado de ansiedad y angustia.

El comportamiento del cliente se puede caracterizar, de menor a mayor tolerancia, de acuerdo a la clasificación por su origen (de a) a f) del primer párrafo de este epígrafe). Por ejemplo, un cliente en la situación a) (emergencias sanitarias) tiene menos tolerancia que un cliente en la situación e) (personal del SSPA con necesidades de transporte sanitario).

1.1.3.- Medios del *Call Center* de Emergencias Sanitarias

Los medios son el conjunto de procedimientos, normas, protocolos, planes, y en general documentación que describen las características de operación del centro de atención de llamadas, y las funciones y responsabilidades de las personas encargadas de la ejecución de las actividades.

Los procedimientos de aplicación, más habituales, en la sala de coordinación, se enumeran a continuación:

1. Gestión de la demanda. Fase II: detalla las funciones de los puestos, la actuación ante los tipos de demanda, y contiene anexos con los códigos de resolución y los interrogatorios tipo.
2. Procedimiento del Servicio Provincial de Málaga: amplía el contenido, fijando el número de puestos de atención y turnos por categoría profesional.
3. Indicadores de calidad y sistema de evaluación: detalla la cumplimentación de los registros informáticos.
4. Trazabilidad: detalla los ítems mínimos necesarios para el seguimiento del proceso asistencial. Coordina la fase II con el resto de fases.
5. Manual del operador del sistema de comunicaciones (SICOM, Sistema Coordinador Multimedia).

1.1.4.- Recursos del *Call Center* de Emergencias Sanitarias

En este apartado se describen los recursos tecnológicos y humanos.

1. Los recursos tecnológicos se resumen en: SICOM, *hardware* y periféricos, centralita y número de líneas contratadas:

SICOM es un sistema de gestión de comunicaciones y control de recursos que integra todo tipo de comunicaciones (telefonía tradicional y móvil, radio, videoconferencia, etc.) para contactar con el *call center*. El sistema ayuda al teleoperador, médico y operador de radio a tomar los datos del suceso, seleccionar el interrogatorio idóneo y elegir el mejor recurso: Uvi Móvil, Helicóptero, Consejo Sanitario etc.

La centralita telefónica asigna prioridades y sitúa en la cola al usuario. Las prioridades se basan en el tipo de línea y tiempo de espera aplicándose un código de colores, siendo las líneas 061 y de Urgencias las de asignación más prioritaria, seguidas de las 112 y Teleasistencia (SAT) y finalmente el resto.

El número de líneas contratadas se distribuye según la demanda prevista al objeto de minimizar los tonos de ocupados (ver tabla 1.1) pudiendo ser atendidas simultáneamente dos llamadas por línea y destacando que el 25% corresponden a la línea 061. En la columna del tipo de línea se incluye entre paréntesis el acrónimo usado en el sistema de información.

Tabla 1.1: Líneas contratadas por tipo de llamada en función de la demanda prevista. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía

Tipo de Línea	Nº Líneas
Emergencias (061)	5
Transporte/Transplante (TPTE/TPS)	2
Urgencias (URG o SEU)	3
Equipo Coordinación Avanzada (ECA)	1
Helicóptero (HEL)	1
112 (112)	1
Corporativo (COP)	1
Servicio Andaluz Teleasistencia (SAT)	1
Hospitales, Centros Salud (HOS)	1
Salida externa (OUT)	4
Fax (FAX)	1
Total	21

Fuente: Elaboración Propia, a partir de información interna de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

2. En cuanto a los Recursos Humanos, en primer lugar se describen los puestos de trabajo, sus funciones y responsabilidades. En segundo lugar se expone el número de profesionales por categoría, mes y franja horaria. En tercer lugar, se comentan aspectos relevantes en las relaciones laborales.

Los puestos de trabajo se pueden agrupar en:

- a) Teleoperador: Es la primera persona de contacto con el llamante. Recepciona llamadas de todas las líneas excepto transporte sanitario, sin embargo, en horario de medianoche hasta las ocho de la mañana si atiende toda la tipología. Sus funciones se realizan en un período corto de tiempo, y difieren según sea la resolución de la demanda. A modo de resumen, son:
- Recepción de llamada, teniendo en cuenta la prioridad programada.
 - Identificación inicial del tipo de demanda, crear Asunto (formulario de datos relacionado con la llamada).
 - Toma de datos de filiación y localización.
 - Interrogatorio, o información no sanitaria (en demandas informativas).
 - Detección de alertas de actuación.
 - Envío a escucha (participación del médico, que escucha las respuestas del usuario y envía órdenes al teleoperador) de médico coordinador, o transferencia de llamada (en demandas de consulta sanitaria).
 - Emisión de consejos e información al usuario.

- Activación de recurso (UVI, ECA, Helicóptero,...) en su caso.
- b) Médico Coordinador: Es el puesto que decide como resolver el servicio solicitado por los clientes (ya sean usuarios, personal del SSPA, u otros). Se caracteriza porque habitualmente, no entra en contacto directo con el cliente. Sus funciones, podrían resumirse en:
- Atender escucha.
 - Emitir órdenes a Teleoperador y operador de radio.
 - Cumplimentar Medidas, clasificación y codificación de la demanda.
 - Ordenar la activación de recursos.
 - Reevaluar los casos, en saturación y rellamadas por el mismo motivo.
 - Informar sobre consejo sanitario (en demandas de consulta sanitaria, en este caso si interactúa directamente con el usuario).
 - Diagnóstica y prescribe tratamiento en los casos de ECA.
 - Activación de planes de emergencias colectivas, y otros.
- c) Operador de radio: Es el puesto encargado de realizar las llamadas para activar los recursos, y seguimiento de los servicios. Sus funciones son:
- Atender las llamadas entrantes por línea de transporte sanitario (TPTE/TPS).
 - Activar los recursos, por orden de médico coordinador o teleoperador.
 - Recepción de estatus.
 - Seguimiento de la asistencia.
 - Informar de las saturaciones de equipos.
 - Seguimiento de resoluciones *in situ* del día (las que atiende un recurso en el lugar y no son trasladados a otro centros del SSPA), al día siguiente.
 - Seguimiento, con rellamadas, de las demandas codificadas como de urgencias.
 - Seguimiento de la activación de planes de emergencias colectivas.

Otras categorías profesionales que intervienen en el *call center* son el supervisor de teleoperadores, Coordinador de cuidados, Coordinador asistencial, y Director del Servicio Provincial de Málaga, que se ocupan de la planificación y seguimiento, en el medio plazo, de la atención a las demandas.

El número de profesionales queda determinado, fundamentalmente, por la presión de la demanda. En los meses de invierno y verano se reciben más llamadas, asimismo, diariamente, la afluencia de llamadas es mayor en horario diurno que nocturno. En la tabla 1.2 se exponen el número de profesionales medios de teleoperación por mes y franja.

Tabla 1.2: Número medio de teleoperadores por franja horaria y mes. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía, 2007.

Franja	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	media
0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8,26	8,02
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10,26	10,02
11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10,26	10,02
12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11,26	11,02
13	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11,26	11,02
14	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11,26	11,02
15	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10,26	10,02
16	9,26	9,29	9,29	9,3	9,26	9,3	9,29	9,26	9	9	9	9	9,19
17	9,26	9,29	9,29	9,3	9,26	9,3	9,29	9,26	9	9	9	9	9,19
18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
19	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
21	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
22	8,74	8,71	8,71	8,7	8,74	8,7	8,71	9	9	9	9	9	8,83
23	9,03	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	9,42
media	8,55	8,55	8,55	8,55	8,55	8,55	8,55	8,61	8,58	8,58	8,58	8,66	8,57

Fuente: Elaboración Propia, a partir de información interna de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

Se observa como el mayor número de profesionales se concentra en la franja de las 10 horas a las 23 horas (entre 8 y 12, frente a entre 6 y 8 de madrugada). En la cifra de teleoperadores, se incluyen tanto los que atienden llamadas entrantes como los operadores de radio, que se determinan de acuerdo al Procedimiento del Servicio Provincial de Málaga. En horario de 8 a 21 horas incluye 4 puestos, y en horario de 22 a 7 horas todos los puestos de teleoperador realizan las funciones de teleoperador y operador de radio. La Tabla 1.2 servirá de base para comparar las necesidades de personal que se calculan en el capítulo 4 con la programación real expuesta.

En la tabla 1.3 se resume el número de profesionales promedio por franja horaria en 2007 de cada uno de los tres puestos.

Tabla 1.3: Número medio de profesionales por franja horaria y mes. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía, 2007.

Franja	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Media	
Media Coordinador	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3,08
Media Teleoperador Radio	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0	2,33
Media Teleoperador	6	6	6	6	6	6	6	5	3	4	6	6	7	7	7	6	5	5	8	8	6	6	9	9	6,24	

Fuente: Elaboración Propia, a partir de información interna de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

Se destaca que el número medio de médicos coordinadores se mantuvo en turno fijo todo el año al contrario que los teleoperadores que se incrementaron ligeramente en el mes de agosto y diciembre. Asimismo se muestra el desglose entre teleoperador y operador de radio en las franjas horarias que ocupan puestos diferenciados.

Los puestos de trabajo de teleoperadores son subcontratados a una empresa especializada en la atención de centros de llamadas, mientras que los puestos de médico coordinador son ocupados por personal contratado por EPES, dada la consideración de actividad nuclear para la Empresa.

Este hecho supone la aplicación de distintos convenios colectivos en las relaciones con los recursos humanos. En concreto se destacan los siguientes aspectos: 1) jornada laboral de 1764 horas en teleoperación y 1452 horas en médico coordinador, 2) turnos, que son de 12 horas para médicos y entre 8 y 12 para teleoperadores, 3) disponen de descansos diariamente para desayuno y comidas. En el caso de teleoperadores disponen adicionalmente de un descanso de 30 minutos en su turno. También, a los teleoperadores les aplica un descanso en concepto de pausa de visualización de datos (PVD) de 5 minutos por cada hora efectiva de trabajo. Respecto al resto de permisos retribuidos, las condiciones son similares.

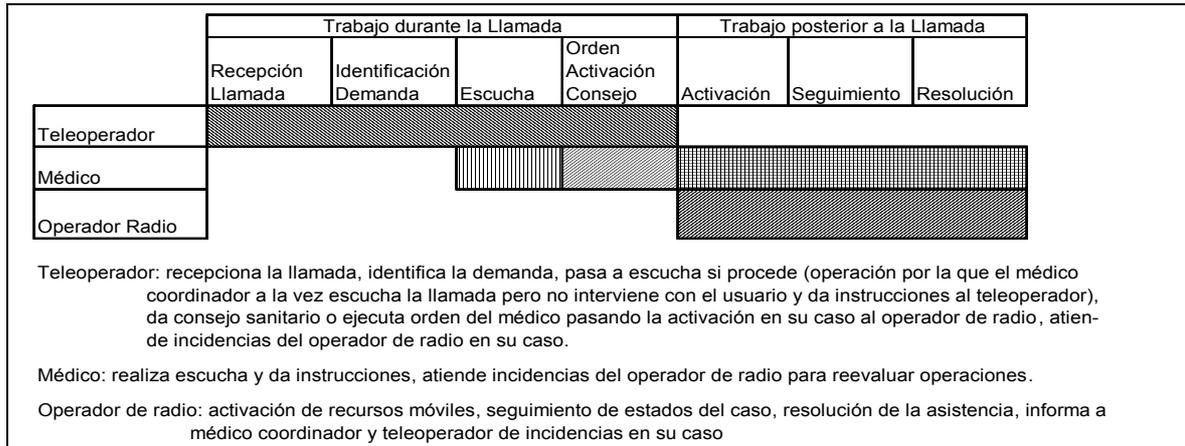
Estas características de condiciones laborales serán tenidas en cuenta en el capítulo 5 a la hora de determinar el conjunto de horarios óptimos que cubra las necesidades de personal.

Las secuencias de las operaciones pueden describirse en función de los tiempos que transcurren antes de atender la llamada, durante la atención y el tiempo posterior para la gestión de la demanda, así se propone el siguiente desglose de tiempos:

1. Tiempo de espera: Desde que el cliente llama hasta que se atiende la llamada.
2. Tiempo de atención: Desde que el teleoperador atiende, pasando por escucha y/o transferencia si es el caso, hasta que se cuelga.
3. Tiempo posterior a la llamada: Desde que el operador de radio o teleoperador realiza las llamadas salientes para la activación de recurso, hasta la finalización del seguimiento. Estas actividades se van realizando conforme se reciben los estatus correspondientes.

En el gráfico 1.3 se representa un esquema simplificado de la operativa del centro, con una breve descripción de las funciones de cada tipo de puesto.

Gráfico 1.3: Operativa del Servicio Provincial de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en Andalucía



Fuente: Elaboración Propia, a partir de información interna de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias

1.2.- ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA GESTIÓN DE LA DEMANDA EN EL CALL CENTER DE EMERGENCIAS SANITARIAS

En este epígrafe se cuantifican los eventos (llamadas recibidas, escuchas y llamadas emitidas o salientes) que ocurren en el centro de atención de llamadas, los tiempos que ocupan los mismos, y las relaciones existentes entre ambas variables, es decir, eventos y tiempos. Las perspectivas de análisis, en la medida de lo posible, se inician para el total de ocurrencias, continúan con un desglose por tipos de líneas, franjas horarias y meses. Los apartados de estudio son:

- Llamadas recibidas.
- Llamadas perdidas.
- Tiempos de respuesta y llamadas recibidas.
- Tiempos de servicio.
- Relaciones entre las operaciones y tiempos. En especial se aborda el análisis de las demandas con código de resolución, escuchas, llamadas emitidas, y sus tiempos de ocupación.

1.2.1.- Llamadas recibidas en el Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias, 2004 a 2007.

En un primer momento, las llamadas recibidas indicarían el volumen de demanda a satisfacer, pero de una reflexión del comportamiento de los clientes se destacan las siguientes consideraciones:

1. Si al llamar se reciben tonos de ocupado, en el caso de que por la línea 061 llamasen más de 10 personas a la vez, es bastante probable que se reintente contactar nuevamente, dado el carácter urgente de la llamada. Pero si la persona desistiera, esa solicitud de servicio no sería contabilizada.
2. Si al llamar, y tras una espera, no se es atendido, es también bastante probable una rellamada. Si esta segunda llamada es atendida, se habrían contabilizado dos llamadas recibidas para un mismo asunto.

3. Como consecuencia de las consideraciones anteriores, si no se recibiesen tonos de ocupado y no existieran llamadas perdidas, el número de llamadas recibidas representaría la demanda de servicios. Por ello, ésta, posiblemente se encuentre en el intervalo de llamadas recibidas y llamadas atendidas (recibidas disminuidas por las perdidas).

A grandes rasgos, en 2007 se han recibido 579.821 llamadas en el Servicio Provincial de Málaga, es decir un promedio de 48.318 llamadas al mes, 1.586 llamadas al día, 66 llamadas a la hora, y, 1,10 llamadas al minuto. Esto es equivalente a que prácticamente un tercio de los habitantes de la provincia llamen una vez al año. En la tabla 1.4 se exponen las llamadas recibidas por línea y año, el porcentaje de incremento anual y qué porcentaje representa cada tipo de llamada respecto del total.

Tabla 1.4: Llamadas recibidas en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Andalucía por tipo de línea y año. 2004 a 2007.

	2004	2005	Incr. 2004-2005	2006	Incr. 2005-2006	2007	Incr. 2006-2007	%
061	217.991	213.812	-2	219.803	3	244.886	11	42
112	20.726	28.975	40	34.321	18	39.078	14	7
SEU	107.018	118.936	11	129.451	9	150.146	16	26
TPTE/TPS	59.999	65.372	9	65.883	1	79.025	20	14
RESTO	64.582	63.992	-1	64.817	1	66.736	3	12
TOTAL	470.316	491.087	4	514.275	5	579.871	13	100

SEU: Urgencias, TPTE/TPS: Transporte/Transplante, RESTO: Equipo Coordinación Avanzada + Helicóptero + Cooperativo + Servicio Andaluz de Teleasistencia + Hospitales/Centros de Salud + Salida Externa+Fax.

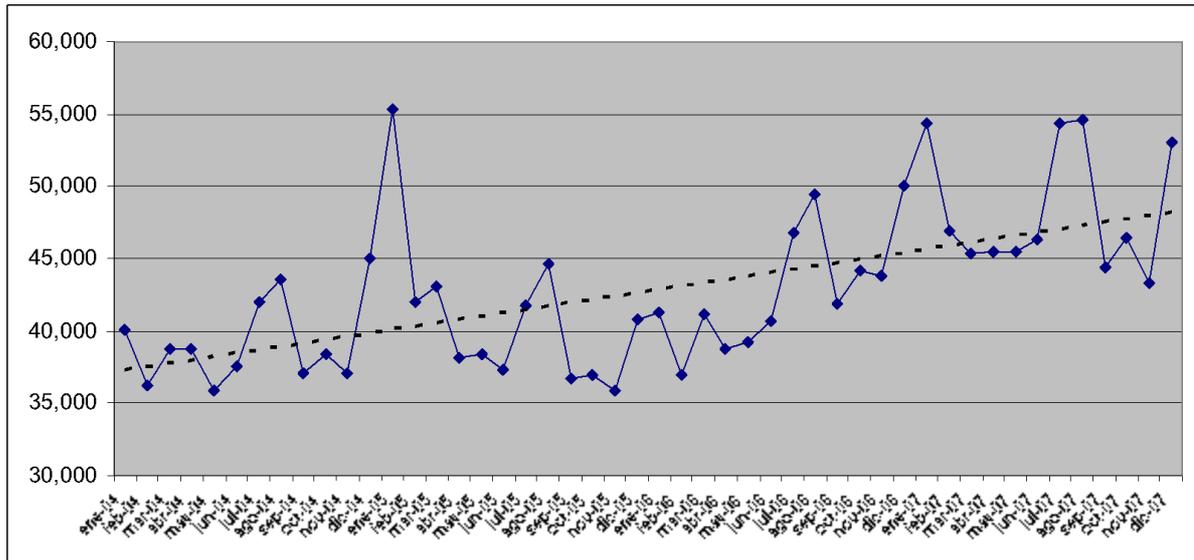
Fuente: Elaboración Propia a partir de información interna de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

El total de llamadas ha crecido ampliamente en 2007, pasando de un crecimiento sostenido del 4%-5% en 2005 y 2006 a un 13%. Es destacable también que ese incremento es debido fundamentalmente al número de llamadas recibidas por línea 061 (42% del total de llamadas en 2007).

En cuanto a las variaciones observadas por tipos de líneas, se destaca que la línea 112 crece en participación relativa, como consecuencia de la introducción gradual de este servicio (40% incremento en 2005). Igual ocurre con la línea de urgencias (SEU), ya que a medida que los centros de salud han ido desconectando sus teléfonos de atención, han crecido las demandas en EPES. En cuanto a las líneas de transporte, su demanda queda condicionada por la aplicación del procedimiento de información a la sala de coordinación. El crecimiento de llamadas por líneas distintas al 061 era previsible. Sin embargo, el incremento de algo más del 11% en 2007 de la línea 061 resulta más sorprendente.

En el gráfico 1.4 se expone como evolucionan en los distintos meses del año las llamadas totales entre 2004 y 2007.

Gráfico 1.4: Tendencia de la serie temporal de llamadas recibidas en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga. 2004 a 2007.

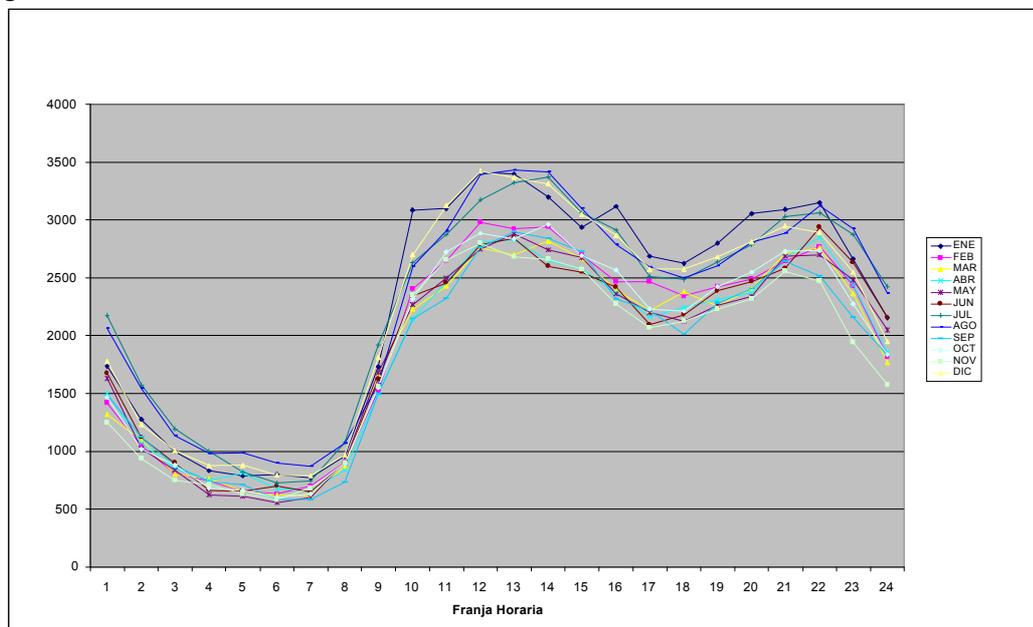


Fuente: Elaboración Propia a partir de información interna de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

Se observa un crecimiento anual sostenido, con períodos estacionales de mayor volumen en los meses de diciembre, enero, julio y agosto.

En el gráfico 1.5, se puede observar el perfil horario del total de llamadas recibidas por franja horaria en cada mes durante el año 2007.

Gráfico 1.5: Distribución en franjas horarias de las llamadas recibidas en el Servicio Provincial de Málaga durante 2007.



Fuente: Elaboración Propia a partir de información interna de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

Destacan los siguientes comportamientos:

- En todos los meses, la menor frecuencia de llamadas se recibe en horario nocturno. Desde las 23 horas hasta las 8 horas decrece el número de llamadas recibidas (llegando a ser sólo de entre 500 y 1000 llamadas por hora).

- Desde las 8 horas hasta las 11 horas se observa una fase transitoria de crecimiento común en todos los meses (hasta entre 2.500 y 3.000 llamadas por hora).
- Desde las 11 horas hasta las 17 horas se recibe el mayor número de llamadas, aunque se producen mayores diferencias entre cada uno de los meses del año, y comienza a decrecer en la última hora (llegan a producirse 3500 llamadas por hora, habiendo una diferencia de alrededor de 1.000 llamadas por hora entre diciembre y marzo, por ejemplo).
- Desde las 17 horas hasta las 22 horas, se produce un movimiento similar al intervalo anterior, sin embargo, se alcanza un máximo inferior al del anterior período (2.500 llamadas por hora).

Resulta interesante profundizar en un análisis del comportamiento de las llamadas por día, tipo de línea, mes, y franja horaria (en intervalos de una hora, anexo III). Las líneas relacionadas con las emergencias (061, 112), crecen en julio, agosto, diciembre y enero, presentando mayor peso relativo en horario de madrugada y desde media mañana a media tarde. La línea de urgencias (SEU) decrece en verano (posiblemente por el menor número de residentes en Málaga) y a altas horas de la madrugada, por lo que parece que las situaciones de urgencias son demoradas por los propios usuarios. Por el contrario, esta línea de urgencias crece desde media tarde a media noche. La línea de transporte es bastante estable.

En la Tabla 1.5 se muestra el valor de las llamadas recibidas promedio en 2007 por día para cada franja y mes.

Tabla 1.5: Llamadas recibidas promedio en 2007 por día, hora y mes en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga

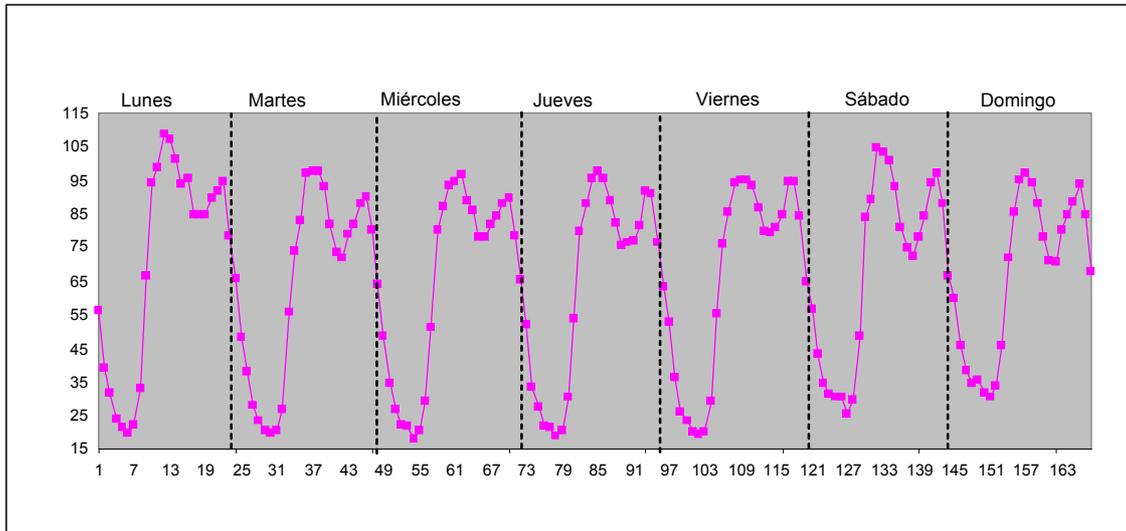
Franja	ene	feb	mar	abr	May	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	media
0	55,97	50,61	42,58	50,00	52,68	55,73	70,1	66,45	49,57	47,32	41,67	57,52	53,42
1	41,13	37,61	35,48	35,93	33,1	37,37	50,74	49,77	37,43	32,77	31,33	39,71	38,57
2	32,35	29,07	26,06	28,23	27,06	30,00	38,58	36,61	29,2	28,35	25,07	32,42	30,28
3	26,74	26,64	24,68	25,03	20,19	22,13	32,29	31,71	24,63	22,00	23,67	28,26	25,68
4	25,42	23,39	21,13	27,00	19,77	21,93	26,42	31,77	23,67	21,35	21,13	28,52	24,31
5	25,81	22,64	20,13	22,57	17,94	23,23	23,32	29,13	19,33	19,45	19,37	25,52	22,38
6	24,87	25,11	20,00	21,87	19,29	21,73	23,94	27,94	19,33	20,45	22,63	25,42	22,71
7	30,84	32,36	28,03	27,87	29,29	29,73	34,58	34,52	24,47	28,9	30,07	31,19	30,16
8	55,77	54,54	53,87	49,83	54,16	54,17	61,81	50,87	49,77	49,9	52,03	58,48	53,79
9	99,58	85,93	72,06	71,5	73,13	78,07	84,87	83,9	71,4	74,81	78,3	87,16	80,07
10	100,1	94,64	78,52	82,33	80,71	81,83	92,68	93,77	77,6	88,00	88,53	100,87	88,31
11	110,03	106,57	89,19	93,47	88,71	92,9	102,32	109,48	92,13	93,13	93,4	110,58	98,49
12	109,68	104,36	87,06	94,43	92,97	94,77	107,23	110,68	96,63	91,61	89,47	108,65	98,97
13	103,16	105,21	90,84	88,37	88,52	86,73	108,81	110,26	94,73	95,52	88,8	106,81	97,33
14	94,71	96,32	86,00	85,8	86,35	85,07	98,84	100,00	90,87	86,87	85,77	98,45	91,26
15	100,52	88,07	77,26	79,27	76,16	80,67	94,03	89,97	77,3	82,9	75,8	92,58	84,58
16	86,61	88,11	71,61	72,03	70,97	69,7	81,1	83,61	73,87	72,03	68,9	83,13	76,78
17	84,65	83,71	76,77	74,8	68,58	72,63	80,19	80,68	67,17	71,32	70,83	83,1	76,19
18	90,29	86,61	72,81	77,07	73,00	79,57	85,06	84,16	76,03	78,32	74,3	86,55	80,3
19	98,52	88,79	77,71	79,1	75,48	82,33	90,00	90,55	80,13	82,16	77,3	90,81	84,42
20	99,84	94,5	87,42	89,37	86,61	86,00	97,71	93,13	88,03	88,19	85,2	95,19	90,95
21	101,52	98,93	89,06	95,07	87,03	97,83	98,87	100,71	84,03	88,23	82,5	93,39	93,08
22	85,94	86,79	76,16	81,27	80,00	87,7	92,68	94,29	71,9	73,48	64,87	82,16	81,45
23	69,48	65,04	57,13	61,83	66,16	71,9	78,32	76,42	61,00	59,19	52,6	62,97	65,21
media	73,06	69,81	60,9	63,08	61,16	64,32	73,1	73,35	61,68	62,35	60,15	71,23	66,2

Fuente: Elaboración Propia a partir de los sistemas de información de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

Se observa una importante variabilidad en las tasas de llamadas por horas, desde las apenas 18 en mayo a las 5 horas, hasta las 111 en agosto a las 12 horas. Las implicaciones de estos valores son de indudable importancia a la hora de planificar los recursos, en especial los humanos, que se aborda en el capítulo 4.

Un punto de vista interesante para la programación de los turnos de trabajo, es el análisis de las llamadas recibidas para cada día de la semana. En el gráfico 1.6 se recoge el perfil semanal de llamadas.

Gráfico 1.6: Perfil semanal de llamadas recibidas por hora en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007.



Fuente: Elaboración Propia a partir de información interna de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

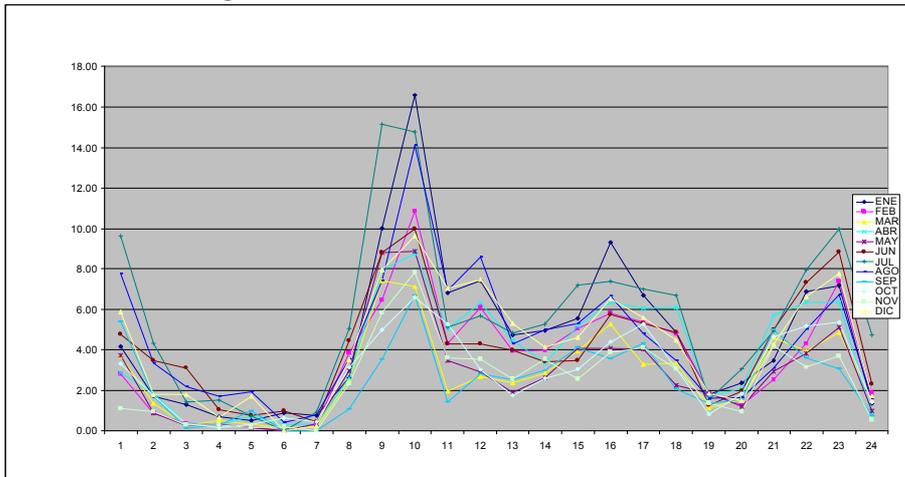
Se observa un comportamiento homogéneo de martes a viernes. En sábados y domingos se reciben más llamadas en horario de madrugada, siendo los lunes los días de mayor afluencia de llamadas.

Dado que las llamadas recibidas suponen una aproximación al volumen de demanda, el primer paso a desarrollar para una correcta prestación de servicio es el pronóstico de dicho volumen, que es tratado en el capítulo 3.

1.2.2.- Llamadas perdidas o abandonadas en el Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias, 2004 a 2007.

Son llamadas perdidas aquellas que no son contestadas por los teleoperadores, es decir, cuando el llamante abandona trascurrido un tiempo. En el gráfico 1.7 se trazan los porcentajes de llamadas perdidas por franja horaria en cada mes.

Gráfico 1.7: Llamadas perdidas por hora y mes en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007.



Fuente: Elaboración Propia a partir de los sistemas de información de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

Se pierden más llamadas y con más frecuencia en las horas de máxima actividad, a primera hora de la mañana. El patrón mantiene cierta similitud con el gráfico 1.5 de llamadas recibidas.

En la tabla 1.6 se muestra la frecuencia de llamadas perdidas por tipo de línea. Se destaca que el porcentaje de llamadas perdidas global es del 12,6%, siendo la línea 061 la que en relativo pierde más llamadas (16,7%), y la línea 112 la que menos (1,6%). Las líneas SEU y TPT se sitúan en torno a la media.

Tabla 1.6: Llamadas perdidas en 2007 por tipo de línea en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga

línea	recibidas	perdidas	%
061	244.886	40.998	16,7%
112	39.078	622	1,6%
SEU	150.146	16.619	11,1%
TPT	79.025	10.581	13,4%
RESTO	66.736	4.501	6,7%
TOTAL	579.871	73.321	12,6%

Fuente: Elaboración Propia a partir de los sistemas de información de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

Una dimensión interesante a analizar es la distribución del tiempo de espera del cliente (paciencia) antes de abandonar la llamada (tabla 1.7).

Tabla 1.7: Llamas perdidas en 2007 por tiempo de espera en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga

Tiempo Espera (segundos)	Perdidas	Frecuencia	Acumulado
0-5	44.697	61,0%	61,0%
6-10	3.449	4,7%	65,7%
11-20	5.296	7,2%	72,9%
21-30	5.403	7,4%	80,3%
31-40	4.325	5,9%	86,2%
41-50	5.223	7,1%	93,3%
51-60	2.236	3,0%	96,3%
61-90	1.964	2,7%	99,0%
Resto	728	1,0%	100,0%
Total	73.321	100,0%	

Fuente: Elaboración Propia a partir de los sistemas de información de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

Casi dos de cada tres llamadas perdidas se producen cuando han transcurrido menos de 11 segundos (, pero sobretodo, en el intervalo de antes de 6 segundos se produce un abandono que supone el 61% del total.

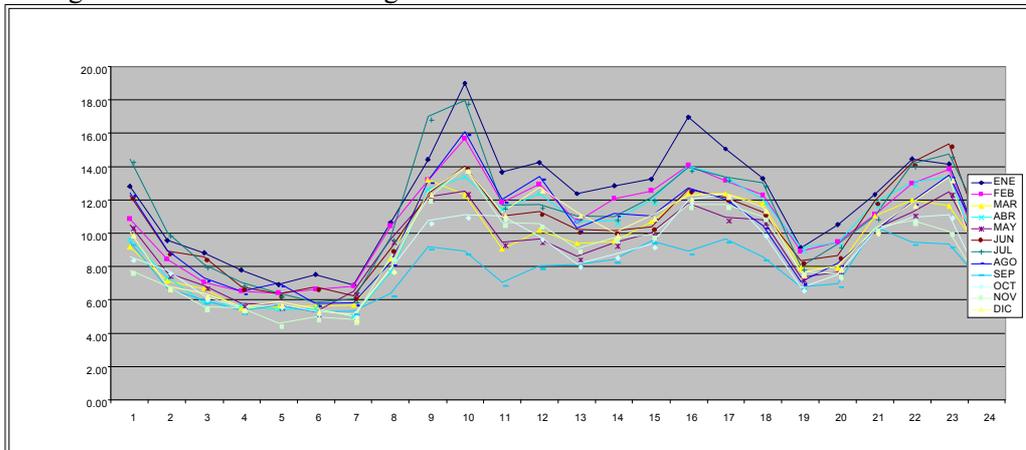
Una posible alternativa a la evaluación de las llamadas perdidas es ajustar el porcentaje de llamadas perdidas, del tal manera que si se resta tanto del numerador como del denominador las de espera inferior a 11 segundos, se reduce ostensiblemente el porcentaje al 4,7%. Éste es un indicador más adecuado de llamadas perdidas.

En el capítulo 2 se profundiza en el análisis de la impaciencia del usuario con objeto de incorporar este comportamiento al análisis de planificación de necesidades de personal que se desarrolla en el capítulo 4.

1.2.3.- Tiempos de respuesta en el Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias, 2004 a 2007.

El tiempo de respuesta es el que media entre la llamada del usuario y la atención por parte del teleoperador, es decir, lo que espera el cliente para ser atendido. En el gráfico 1.8 se trazan los tiempos medios de respuesta por franja horaria en cada mes.

Gráfico 1.8: Tiempos de respuesta por hora y mes (en segundos) en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007



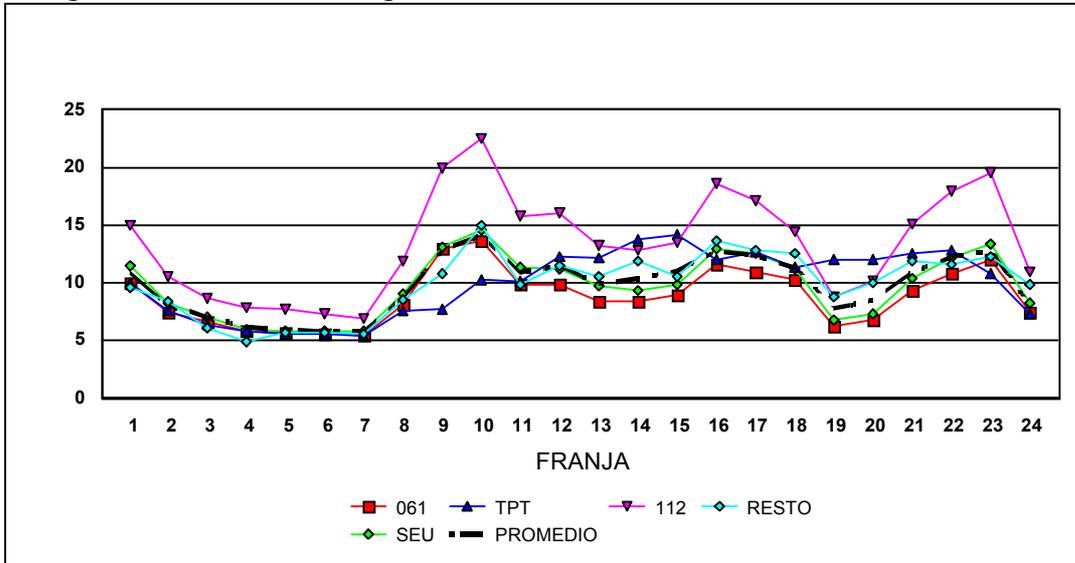
Fuente: Elaboración Propia a partir de los sistemas de información de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

Se observa como el tiempo de respuesta aumenta en las franjas horarias de máxima actividad (a primera hora de la mañana) y disminuye en baja actividad (de madrugada).

Asimismo, la distribución mantiene cierta similitud con los gráficos de llamadas recibidas y llamadas perdidas.

Dado que existen prioridades para las llamadas entrantes, resulta útil un análisis segmentado por tipos de líneas. En el gráfico 1.9 se muestran los promedios anuales por franjas, de tiempos de respuesta por tipo de línea.

Gráfico 1.9: Tiempos de respuesta por tipo de línea (en segundos) en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007.



Fuente: Elaboración Propia a partir de los sistemas de información de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

Se observa como la línea 112 siempre se sitúa por encima de la media (alrededor de 5 segundos más); incluso en tramos de alta actividad su diferencial es aún mayor. Las líneas 061 y SEU mantienen un comportamiento similar, cercano a la media. La línea de transporte se asemeja a la media en horario de madrugada, entre las 8hs y las 12hs está por debajo, y entre las 13hs y el inicio de la media noche su tiempo de respuesta es ligeramente superior a la media. El resto de líneas se aproximan mucho a la media. En términos absolutos las diferencias en segundos son poco significativas, a excepción de algunas franjas en la línea 112. Oscilan entre los 6 y los 14 segundos, que en definitiva es más que aceptable, no pareciendo que marque gran diferencia el hecho de priorizar la atención a las líneas 061 y SEU, salvo la de emergencias 112.

Aunque los tiempos medios de respuesta no son especialmente elevados, sin embargo su dispersión por tipo de línea si lo es. 061, SEU y TPT arrojan un coeficiente de variación de 114% y la línea 112 de 122%. Debido a esta situación, se opta por presentar el porcentaje de llamadas atendidas en varios intervalos de tiempo (tabla 1.8).

Tabla 1.8: Tiempos de respuesta en 2007 en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga

Tiempo respuesta (segundos)	Llamadas atendidas	Acumulado	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada
0-5	251.252	251.252	49,6%	49,6%
6-10	97.153	348.405	19,2%	68,8%
11-15	49.721	398.126	9,8%	78,6%
16-20	38.737	436.863	7,6%	86,2%
21-25	23.014	459.877	4,5%	90,8%
26-30	14.261	474.138	2,8%	93,6%
31-35	8.717	482.855	1,7%	95,3%
36-40	5.959	488.814	1,2%	96,5%
41-45	4.617	493.431	0,9%	97,4%
46-50	3.026	496.457	0,6%	98,0%
51-60	3.643	500.100	0,7%	98,7%
>60	6.550	506.650	1,3%	100,0%

Fuente: Elaboración Propia, a partir de los sistemas de información de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

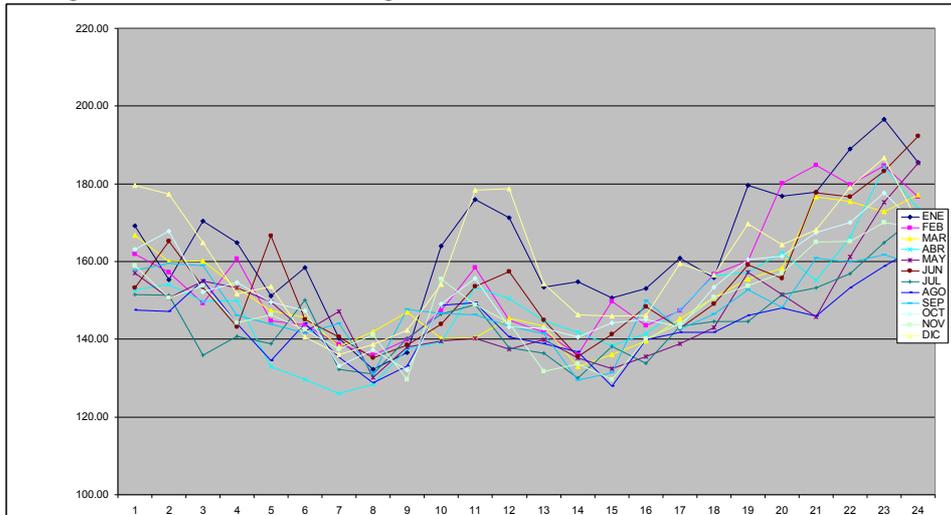
En esta tabla figuran sólo llamadas atendidas, 506.650, descontado las perdidas) En la se observa como el 50% de las llamadas atendidas, lo son en los 5 primeros segundos. Casi el 70% de las llamadas son atendidas en 10 segundos o menos, y el 86% en 20 segundos o menos. El 1% se atiende en más de 60 segundos. Se puede concluir que aunque el tiempo de respuesta se sitúa en torno a 10-12 segundos, la mayor parte de usuarios espera menos, y sólo unos pocos esperan mucho más que la media.

En el capítulo 4 se desarrollan dos modelos de planificación de las necesidades de personal que tienen en cuenta la mejora de los tiempos de respuesta, dado que este es uno de los indicadores de rendimiento más apropiados del funcionamiento del *call center*.

1.2.4.- Tiempos de servicio o atención en el Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Málaga, 2004 a 2007.

El tiempo de servicio o atención, es el que media entre que la llamada es recogida por el teleoperador, se realizan las operaciones, y se finaliza la atención. Existe amplia una diversidad de operaciones según el tipo de servicio atendido, en la que intervienen también recursos humanos distintos. En el gráfico 1.10 se trazan los tiempos medios de servicio por franja horaria en cada mes.

Gráfico 1.10: Tiempos de atención por mes y franja (en segundos) en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007.

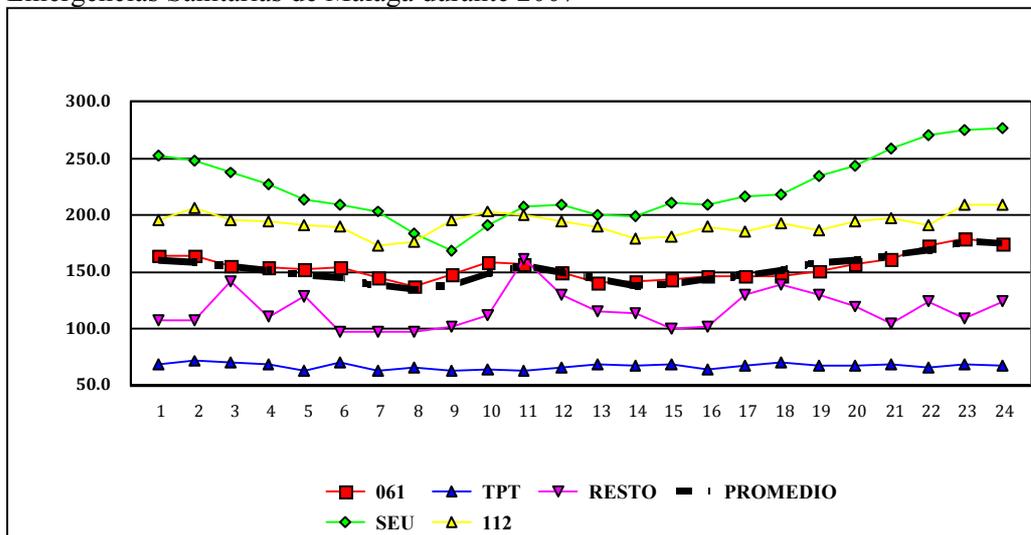


Fuente: Elaboración Propia, a partir de los sistemas de información de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

Se observa que el tiempo de servicio aumenta en las franjas horarias de máxima actividad, disminuye en baja actividad, a excepción de los intervalos de las 22hs a las 24hs, cuando alcanza su máximo. Asimismo mantiene cierta similitud con los gráficos de volumen de demanda, llamadas perdidas y tiempos de respuesta.

También resulta necesario profundizar en el análisis, segregando estos tiempos por tipos de líneas. En el gráfico 1.11 se muestran los promedios anuales por franjas.

Gráfico 1.11: Tiempos de atención por tipo de línea (en segundos) en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007



Fuente: Elaboración Propia, a partir de los sistemas de información de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

Se observa que el tiempo de atención en las línea 112 y SEU se sitúa por encima de la media, siendo el de esta última más irregular. La línea 061 se aproxima a la media, y la de TPT está muy por debajo, con bastante regularidad por franjas. El resto de líneas se encuadran sensiblemente por debajo de la media.

Un aspecto interesante del análisis es observar la variabilidad en tiempos de respuesta por tipo de líneas. Los coeficientes de variación oscilan entre 0,9 y 1,2. A pesar de la

disparidad de los tiempos de servicio por líneas, su dispersión es similar. En resumen, casi 2 de cada 3 llamadas son atendidas antes de la media en cualquiera de las tres líneas principales.

La tabla 1.9 muestra los tiempos medios de servicio por franja horaria y mes, para el total de llamadas atendidas y el conjunto de todas las líneas.

Tabla 1.9: Tiempos de atención por franja y mes (en segundos) en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007.

Franja	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	media
0	169.15	162.15	166.06	152.66	157.04	152.66	151.49	147.45	157.72	163.07	158.91	179.79	159.59
1	155.40	157.19	160.84	154.10	150.69	165.94	150.77	147.22	159.49	167.91	150.76	177.25	157.84
2	170.38	149.22	160.03	149.72	154.96	153.38	136.44	155.17	159.08	152.25	153.79	164.89	154.75
3	164.78	160.77	153.34	149.91	153.38	143.13	140.77	143.98	146.00	154.65	144.27	151.69	150.38
4	151.21	144.75	147.31	133.02	149.56	166.66	138.76	134.49	143.95	149.62	146.26	153.57	146.04
5	158.36	143.73	145.74	129.63	141.97	145.14	150.09	143.93	141.60	147.36	142.56	140.55	144.46
6	140.35	138.60	138.13	125.95	147.19	140.55	132.36	135.47	144.03	133.19	137.44	136.03	137.25
7	132.32	135.90	142.03	128.37	130.15	135.13	131.07	128.70	130.98	137.23	141.16	138.59	134.25
8	136.54	139.87	147.09	137.45	138.07	138.61	140.22	133.21	147.65	132.18	129.70	142.31	138.64
9	163.98	147.30	140.15	139.29	139.51	143.89	146.48	148.67	146.71	149.01	155.58	154.14	148.29
10	175.94	158.40	140.34	153.32	140.09	153.51	148.81	149.53	146.27	155.58	148.87	178.32	154.86
11	171.16	144.97	145.51	150.41	137.56	157.36	137.80	140.61	143.42	143.19	144.28	178.66	150.13
12	153.51	141.74	143.42	144.76	139.93	144.83	136.35	138.88	141.57	142.85	131.67	154.21	143.04
13	154.67	136.13	132.86	141.75	135.23	135.71	129.97	136.84	129.52	140.52	133.60	146.31	137.96
14	150.67	149.85	135.99	138.31	132.38	141.20	138.17	127.90	131.41	144.14	129.57	145.97	138.91
15	153.07	143.52	139.69	141.52	135.61	148.43	133.82	139.68	149.87	145.13	140.12	146.22	143.15
16	160.81	147.29	145.21	147.63	138.78	142.68	143.37	141.94	142.60	143.18	144.06	159.48	146.79
17	155.78	156.66	150.57	156.32	143.02	149.18	144.52	141.84	146.57	153.47	150.72	156.56	150.54
18	179.61	160.25	155.72	157.18	157.14	159.09	144.58	146.07	152.74	160.62	153.70	169.78	158.36
19	176.81	180.11	158.29	162.20	151.54	155.54	151.55	148.06	148.19	161.25	157.08	164.22	159.83
20	177.95	184.87	176.63	155.14	145.80	177.77	153.30	145.95	160.95	167.39	165.06	168.20	164.86
21	188.94	179.83	175.44	166.28	161.18	176.65	156.91	153.25	159.74	170.12	165.26	179.15	169.56
22	196.65	184.53	172.83	184.19	175.29	183.28	164.81	158.77	161.80	177.79	170.10	186.64	176.47
23	185.58	176.44	177.23	173.43	185.28	192.21	171.71	163.89	159.07	168.97	168.52	170.11	174.62
media	163.48	155.17	152.10	148.86	147.56	154.27	144.76	143.81	147.96	152.53	148.46	160.11	151.69

Fuente: Elaboración Propia a partir de los sistemas de información de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

Se observa que los meses invernales son de mayor tiempo (alrededor de 160 segs.) y los de verano los de menor (alrededor de 140 segs.).

Estos tiempos de atención servirán de base para el cálculo de necesidades de personal del capítulo 4. En el anexo IV se incluyen los tiempos medios de servicio por franja horaria y mes para las líneas principales, como complemento a la tabla 1.9.

1.2.5.- Relaciones entre llamadas recibidas, escuchas, transferencias, llamadas emitidas y demandas asistenciales en el Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias, 2004 a 2007.

Hasta el momento, se ha descrito el comportamiento de las operaciones más significativas que se realizan en el *call center*, relacionadas con la óptica del usuario en los tiempos previos y de ocupación de sus llamadas. Para completar el análisis de las operaciones ejecutadas en la sala de coordinación es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. Los tiempos de servicio o atención recogen la ocupación del teleoperador y del médico coordinador cuando escucha. No se ha podido disponer de la trazabilidad de escuchas solicitadas y atendidas por tipo de línea, pero si a nivel agrupado por línea y franja horaria. Igual ocurre para las llamadas emitidas y sus tiempos.
2. Las Reclamaciones y Rellamadas se asocian a cada caso, no obstante, su explotación es insuficiente; no quedan codificadas desde el punto de vista de llamada

entrante. La codificación está centrada en los códigos de resolución de las llamadas (informativas, asistenciales, emergencias colectivas, transporte,...), y por tanto sólo se puede estimar un volumen global de posibles rellamadas. Las llamadas no procedentes tampoco se codifican y por tanto no pueden diferenciarse del volumen global.

3. En EPES se define una demanda como un servicio completo que puede requerir de más de una llamada por parte del usuario para su resolución. Así, si la llamada es informativa se resuelve en ese instante y se codifica como demanda informativa, pero si se trata de una demanda asistencial puede ocurrir que el usuario necesite llamar en dos o mas ocasiones (por ejemplo una llamada inicial informando de la emergencia, otra posterior informando de la evolución, otra insistiendo en la gravedad, etc.). Por ello es importante poder tener toda la trazabilidad de cada llamada para poder analizar cómo se produce el flujo de atención a las demandas.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, en la tabla 1.10 se muestra la relación entre las distintas operaciones durante el año 2007.

Tabla 1.10: Relaciones entre las operaciones del *call center* en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007.

Mes	Escuchas solicitada	Escucha solicitada /llamadas atendidas	Escuchas aceptadas /escuchas solicitada	Llamadas emitidas /llamadas atendidas	Demandas /llamadas atendidas	Demandas /escuchas aceptadas
Ene	23.093	49,1%	87,0%	102,1%	59,3%	138,9%
Feb	19.461	47,6%	88,0%	100,7%	60,6%	144,7%
Mar	19.569	48,7%	89,2%	108,9%	61,2%	140,9%
Abr	19.464	48,5%	90,1%	110,9%	62,2%	142,5%
May	19.540	48,5%	88,8%	112,4%	62,6%	145,4%
Jun	20.155	50,1%	88,0%	115,2%	63,2%	143,6%
Jul	21.806	47,2%	87,9%	104,4%	59,7%	143,8%
Ago	22.228	47,9%	88,7%	104,9%	60,8%	143,1%
Sep	19.228	48,9%	90,1%	110,7%	62,9%	142,7%
Oct	20.298	49,8%	90,3%	111,8%	62,9%	139,7%
Nov	18.863	49,3%	90,8%	113,2%	63,0%	140,9%
Dic	22.925	49,0%	88,6%	105,5%	61,2%	141,1%
Total	246.630					
Media		48,7%	88,9%	108,4%	61,6%	142,3%
Desv_std		0,8%	1,2%	4,7%	1,3%	2,0%
Coef_variación		1,7%	1,3%	4,4%	2,2%	1,4%

Fuente: Elaboración Propia a partir de los sistemas de información de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

Se observa una dispersión reducida en cuanto al comportamiento mensual de cada una de estas variables. En general, para el conjunto total de líneas, se muestra como se solicita escucha en casi el 50% de las llamadas atendidas. Esas escuchas son atendidas por el médico coordinador en cerca del 90% de los casos, o lo que es lo mismo, un 10% han de volver a la cola de escuchas. Las demandas sobre escuchas aceptadas son de 1,42, lo que indica que existen demandas que no generan escuchas, tales como las informativas, y comunicaciones de incidencias de los equipos de emergencias, que son codificadas como demandas.

En la tabla 1.11 se desglosan las llamadas de acuerdo al esquema presentado en el anexo II.

Tabla 1.11: Desglose de llamadas por tipo de demanda en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007.

mes	informativa	asistencial	transporte	consulta sanitaria	emergencias colectivas	otras	total	llamadas no procedentes rellamadas reclamaciones	llamadas atendidas
ene	3.744	16.102	1.998	4.776	4	1.281	27.905	19.118	47.023
feb	3.538	14.073	1.825	4.215	2	1.127	24.780	16.107	40.887
mar	3.658	13.914	1.843	3.848	0	1.349	24.612	15.602	40.214
abr	3.512	14.427	1.949	3.873	6	1.212	24.979	15.162	40.141
may	3.778	14.062	2.003	3.938	2	1.438	25.221	15.058	40.279
jun	3.792	14.238	2.003	4.025	0	1.392	25.450	14.812	40.262
jul	4.299	15.395	2.308	4.142	3	1.408	27.555	18.628	46.183
ago	4.359	16.124	2.272	4.068	6	1.392	28.221	18.193	46.414
sep	3.754	13.921	2.050	3.684	2	1.299	24.710	14.591	39.301
oct	3.725	14.544	2.020	4.045	2	1.262	25.598	15.127	40.725
nov	3.534	13.723	1.937	3.723	1	1.208	24.126	14.170	38.296
dic	3.838	16.108	2.152	5.318	0	1.250	28.666	18.159	46.825
total	45.531	176.631	24.360	49.655	28	15.618	311.823	194.727	506.550
% llamadas atendidas	9,0%	34,9%	4,8%	9,8%	0,0%	3,1%	61,6%	38,4%	100,0%
% demandas	14,6%	56,6%	7,8%	15,9%	0,0%	5,0%	100,0%		

Fuente: Elaboración Propia a partir de los sistemas de información de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

Si se suman las columnas correspondientes a consultas sanitarias y asistenciales (226.286 susceptibles de solicitar escucha al médico coordinador) se puede concluir que en término medio toda escucha genera una demanda (246.630 escuchas –tabla 1.10) y que el 61% de las llamadas atendidas generan una demanda, es decir, casi el 40% de las llamadas son no procedentes, rellamadas, o reclamaciones lo que implica un alto volumen de llamadas en las que no es posible conocer su relación con las demandas.

En la tabla 1.12 se muestra la relación entre llamadas y demandas por tipo de línea de entrada.

Tabla 1.12: Relación entre demandas y llamadas por tipo de línea en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007.

Línea	Llamadas atendidas	Demandas	Demandas/Llamadas
061	203.888	125.553	62%
112	38.456	31.810	83%
SEU	133.527	107.870	81%
TPT	68.444	17.171	25%
RESTO	62.235	29.419	47%
TOTAL	506.550	311.823	62%

Fuente: Elaboración Propia, a partir de los sistemas de información de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

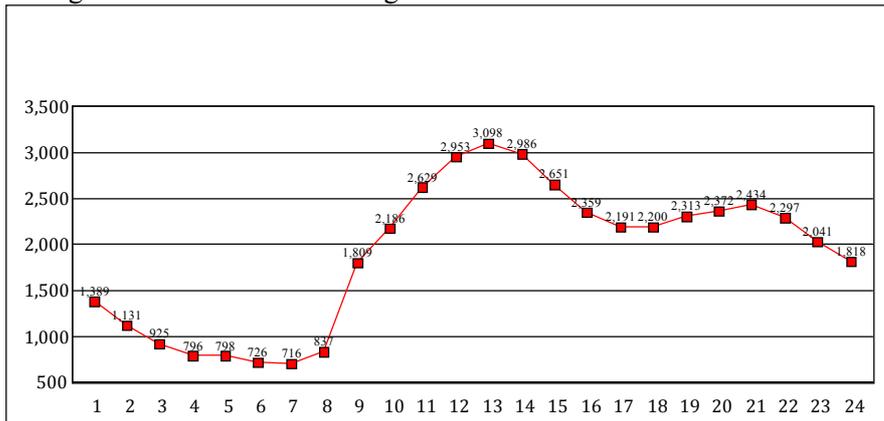
Destaca como las llamadas por SEU generan casi siempre una demanda (81%); 6 de cada 10 por línea 061, y sólo 1 de cada 4 llamadas genera demanda en la línea TPT, debido a que fundamentalmente se reciben llamadas con estatus.

Una vez expuestas las líneas generales que relacionan las diversas operaciones, el siguiente paso del análisis se centra en las escuchas, y en especial en el comportamiento de su atención por parte del médico coordinador por franjas horarias y meses. Los porcentajes de escuchas atendidas muestran escasa dispersión respecto a la media,

siendo los meses de alta actividad los de mayor pérdida de escuchas (se solicita escucha y el médico no las atiende), y las franjas de las 22hs a las 23hs las de menores escuchas atendidas.

Las llamadas emitidas tienen un perfil similar a las llamadas recibidas, lo que era previsible, dada la relación funcional existente entre ambas. En el gráfico 1.12 se observa lo comentado y en el anexo V se muestra un detalle por mes y franja horaria de las llamadas emitidas, del que se deduce que no existe una gran variabilidad entre franjas, aunque si entre meses, al igual que ocurría con las llamadas recibidas.

Gráfico 1.12: Media de llamadas emitidas (salientes) por franja en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007



Fuente: Elaboración Propia a partir de los sistemas de información de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

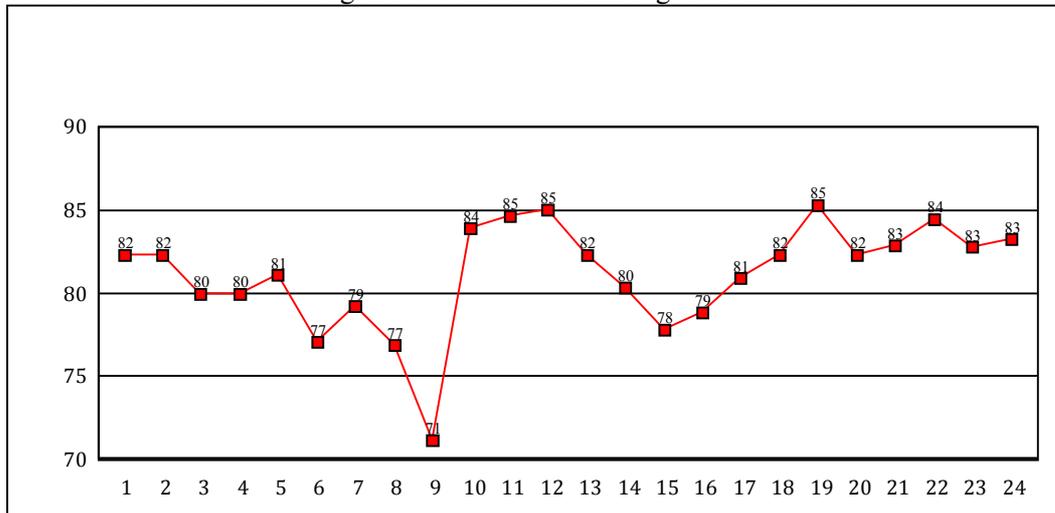
Desde la perspectiva de los servicios ofrecidos, según II, se ha de comentar en líneas generales que:

1. Las llamadas de demanda informativa no generan llamadas emitidas.
2. Las llamadas de demanda asistencial inducen llamadas emitidas cuando se movilizan equipos de emergencias, e incluso posteriormente si la resolución ha sido *in situ*. También cuando se realiza seguimiento en demandas a las que no se puede enviar equipo.
3. Las llamadas de demanda transporte sanitario generan llamadas hacia los hospitales receptores de pacientes, y para la ordenación de activación de equipos.
4. Las llamadas perdidas pueden provocar llamadas salientes al objeto de verificar la necesidad de servicio.

Por lo comentado, la generación de llamadas salientes no puede relacionarse directamente con la línea entrante de la llamada atendida, sino más bien con la especificación del servicio prestado, es decir, la demanda. No obstante, es posible aproximar unas ratios genéricas de la mezcla de llamadas atendidas. Para ello, si se dividen las llamadas emitidas por el sumatorio de las demandas asistenciales, de transporte y emergencias colectivas, se observa como por cada demanda susceptible de emisión de llamadas salientes se emiten casi 3 llamadas al exterior. De otra forma, aunque la relación entre llamadas recibidas y emitidas es casi 1, no debe afirmarse que cada llamada recibida provoque una llamada emitida, sino que cada llamada recibida se traduce en un 35% de probabilidad de convertirse en una demanda susceptible de generar llamadas salientes, y dado este caso, se producirían casi 3 llamadas emitidas para la resolución del asunto.

El tiempo de ocupación de las llamadas emitidas es el empleado por el operador de radio. En el gráfico 1.13 se observan los tiempos medios de llamadas emitidas por franja horaria, con un perfil de comportamiento similar al de llamadas recibidas, tiempos de servicio, y llamadas emitidas.

Gráfico 1.13: Tiempo medio en segundos de llamadas emitidas (salientes) por franja en el Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007.



Fuente: Elaboración Propia, a partir de los sistemas de información de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

El análisis de los tiempos de llamadas emitidas presenta homogeneidad en sus valores por franja y mes a lo largo del año, destacando que a primera hora de la mañana (9 hs) se encuentra el mínimo en poco más de 70 segundos, y en horario nocturno (22 hs) el máximo, con cerca de 85 segundos. No obstante, del análisis de la duración de cada llamada se observa una dispersión importante, desde las 0hs a las 7hs el coeficiente de variación es de 1,15 en promedio, y en el resto de franjas de 1,27. Estos valores coinciden con el hecho de la polivalencia de los teleoperadores, que en horario nocturno (0hs a 7hs) realizan toda la gama de operaciones de su responsabilidad (radio y atención de llamadas recibidas). El anexo V muestra los tiempos de ocupación de las llamadas emitidas por franja y mes, así como su dispersión respecto a los valores de la media.

1.3.- CONCLUSIONES

Este capítulo es descriptivo de las operaciones que se realizan en el *call center* y exploratorio de los resultados de los eventos y tiempos más relevantes. Dado el enfoque asumido, no se han encontrado otros trabajos que permitan la comparación de formas de operar ni resultados en términos de las actividades que se realizan en otros *call center* similares.

Del análisis de los procedimientos de trabajo, se ha comprobado que carecen de diagramas de flujo que aclaren la intervención a realizar según el tipo de demanda. Así se recomienda que partiendo del diagrama de bloques funcional expuesto en el anexo II, se amplíen los subprocesos, con objeto de aclarar las operaciones que a su vez mejoren los sistemas de información.

La medición de la eficacia del funcionamiento de la sala de coordinación se puede sintetizar en dos indicadores. El primero es el porcentaje ajustado de llamadas perdidas, que se ha situado cerca del 5% y el segundo determina el nivel de servicio de las

llamadas atendidas, tal es el porcentaje de llamadas atendidas en periodos de tiempo. En este caso se ha alcanzado el 86% de llamadas en 20 segundos o menos. Esta información debería convertirse en objetivos de rendimiento del *call center* y las acciones encaminadas a modificaciones de las operaciones deberían tener en cuenta el efecto sobre estos indicadores de rendimiento.

Para el futuro podrían incluirse algunos indicadores adicionales, como el número de casos resueltos en la primera llamada, ratio de rellamadas según tipos de casos y porcentaje de llamadas no procedentes. Todo ello a nivel global y segmentado por tipo de línea. Esta información sería posible si se mejorara la trazabilidad de las llamadas.

En cuanto a las conclusiones extraídas del análisis descriptivo de las operaciones, se puede destacar:

1. No se dispone de la trazabilidad de escuchas emitidas y aceptadas por tipos de líneas, ni de las llamadas emitidas y sus tiempos de ocupación. La mejora de esta trazabilidad permitiría un conocimiento mas adecuado de las cargas de operaciones por tipos de líneas.
2. Las Reclamaciones y Rellamadas se asocian a cada caso. No obstante, la explotación de esta información es insuficiente, no quedan codificadas desde el punto de vista de llamada entrante. Lo apuntado sugiere una acción de mejora sobre este tipo de información.
3. En los tiempos de respuesta se observa el efecto de prioridad en la línea 112. Además sus tiempos de servicio o atención son mayores que para la línea 061, dado que han de traspasarse los datos. Sería conveniente revisar el protocolo de actuación para esta línea.
4. Se produce una escucha por llamada y se codifica como demanda asistencial, por lo que las indicaciones de alertas de los interrogatorios son corroboradas casi en su totalidad por el médico coordinador. Por tanto, sería deseable examinar las alternativas posibles en la organización del procedimiento de operación. En un extremo, ante alerta de interrogatorio el teleoperador ordena la activación de equipos sin generar escucha, posteriormente el médico evalúa el caso. En el otro extremo, desde el inicio de la llamada el médico escucha y decide. En definitiva, se trata de decidir (teniendo en cuenta riesgos e inversión de recursos) si se atiende a una mejora de interrogatorios o no.
5. En las llamadas emitidas se registran: la rellamada desde la sala de coordinación a llamadas perdidas y el seguimiento de casos (a través de llamada al día siguiente) de resoluciones *in situ* de equipos de emergencias. Se plantea asimismo la necesidad de examinar el valor añadido y eficacia de estas dos operaciones, dado que el comportamiento del usuario ante una llamada perdida, para el primer caso, y empeoramiento de su salud, en el segundo caso, es tendente a rellamar.

Es necesario profundizar en el comportamiento de la franja 22hs a 23hs. Se producen en términos relativos, más llamadas perdidas. El tiempo de respuesta es de los mayores. El peso de las llamadas atendidas se incrementa a favor de la línea SEU, la que emplea más tiempo de servicio, pero el resto de líneas también incrementa su tiempo de servicio. El porcentaje de escuchas no aceptadas es el más alto. El tiempo de llamadas emitidas también es de los más altos.

En general, se pueden establecer las siguientes consideraciones y recomendaciones que integran los resultados expuestos en el capítulo:

1. Dedicar más recursos ha de tener en cuenta la coordinación de las actividades de los tres tipos de puestos de trabajo, dado el carácter secuencial y en ocasiones recurrente de las operaciones. Podría ser posible un cuello de botella en la categoría de médicos coordinadores. Por ello, la ampliación de recursos requiere, necesariamente, mejorar las mediciones de sus operaciones al objeto de armonizar las necesidades de personal.
2. El núcleo de la definición de servicios en los pliegos de contratación del servicio de teleoperación ha de incluir el porcentaje de llamadas perdidas y el nivel de servicio solicitado como base de la oferta publicada, acompañada de información de los eventos y tiempos analizados.
3. La metodología y análisis aplicado son susceptibles de ser extrapolados a otros servicios provinciales de EPES. Lo que redundará en una mejora del conocimiento de las demandas solicitadas y comprensión de necesidades y expectativas de los clientes en cada provincia.

CAPITULO 2.- ANÁLISIS DE LAS LLAMADAS PERDIDAS O ABANDONADAS DEL *CALL CENTER* DE EMERGENCIAS SANITARIAS

“Quien tiene un reloj siempre sabe la hora que es, quien tiene dos siempre se está preguntando cuál de ellos es el correcto, quién tiene diez sabe lo difícil que es medir el tiempo”.
Proverbio

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Los *call centers* de emergencias sanitarias se caracterizan por la necesidad de ofrecer un servicio con un nivel de respuesta muy rápido, mayor que otros *call centers* dedicados a televenta, atención financiera, etc. Esto es debido a la exigencia de los usuarios, tal como se indicaba en el capítulo 1, dada la situación de emergencia que puede afectar gravemente a su salud. Se mencionaba también en el capítulo 1 que las dos medidas de desempeño más importantes de la operación de los centros de atención de llamadas eran el nivel de servicio y el porcentaje de llamadas perdidas o abandonadas⁶, ya que afectan directamente a la percepción de una demanda adecuadamente satisfecha. Por tanto, el estudio y análisis de las llamadas perdidas adquiere especial relevancia en el contexto descrito, dado el carácter de demanda no atendida.

En este capítulo además se analizan las llamadas perdidas o abandonadas, por los siguientes motivos:

1. La falta de respuesta a una demanda provoca insatisfacción en el usuario, que puede necesitar volver a llamar para que su necesidad sea atendida.
2. Puede ajustarse la dimensión de la plantilla, con modelos procedentes de la teoría de colas que se estudian en el capítulo 4, teniendo en cuenta la impaciencia de los usuarios.
3. A pesar de que las llamadas perdidas es uno de los indicadores clave de rendimiento de un centro de atención de llamadas, es una cuestión poco estudiada, debido a la imposibilidad de obtener respuestas de los usuarios impacientes, y a que el tipo de centro de atención es poco estandarizable y los estudios serían muy personalizados para cada uno de ellos.

El comportamiento de impaciencia de los clientes que provoca el abandono de la llamada antes de ser atendida es un tema de estudio que desde el trabajo seminal de Palm (1953) hasta la fecha ha ido adquiriendo más interés, ya que se ha observado empíricamente que el fenómeno de abandono es un supuesto más realista que no se contemplaba en los modelos de colas tradicionales. Este primer trabajo de Palm (1953) analizaba la impaciencia sin tener en cuenta la censura de la información y sugería una función de Weibull para modelizar la tasa de llamadas perdidas, aunque el objeto principal era estimar las necesidades de operadores telefónicos teniendo en cuenta esta impaciencia.

La mayoría de estudios relacionados con el abandono de llamadas están centrados en la obtención de las ecuaciones de equilibrio del sistema de colas, con el objetivo de calcular los parámetros de rendimiento más habituales (tiempos de espera, número de clientes en colas, ocupación de los operadores,...) y no en el análisis del abandono, utilizando habitualmente el estimador de Kaplan-Meier y aproximaciones paramétricas.

La importancia de la modelización de los abandonos en los centros de llamadas se ha destacado por Garnett *et al* (2002), Gans *et al* (2003) o Mandelbaum *et al* (2009) y Brown *et al* (2005) o Feigin (2006) analizan empíricamente estos abandonos,

⁶ En este trabajo se utilizarán llamadas perdidas y abandonadas como sinónimas. No obstante el matiz que las diferencia se refiere al hecho de que la llamada abandonada se origina por el deseo, en cierto momento, de no comunicación del usuario; mientras que la llamada perdida tiene su origen en el límite de paciencia que influye decisivamente en el ánimo del usuario a finalizar la comunicación.

concluyendo que no es habitual que se pueda estimar la impaciencia por medio de ajustes paramétricos y planteando como alternativa el estimador Kaplan-Meier y modelos semiparamétricos como la regresión de Cox.

Boxma *et al* (1994) estiman la probabilidad de abandonar, considerando una cola de varios servidores con los tiempos de servicio y de paciencia normalmente distribuidos. Por su parte, Brandt *et al* (1999 y 2002) consideran una cola Markoviana, de varios servidores dependiente del estado, con tiempos de paciencia normalmente distribuidos, en la que la tasa de llegada depende del número de clientes en el sistema y la tasa de servicio depende del número de servidores ocupados. El impacto de la distribución de la paciencia en el rendimiento del *call center* es estudiado por Mandelbaum *et al* (2004), que observan una relación lineal aproximada entre la probabilidad de abandono y el tiempo medio de espera.

Por su parte, para los análisis de las colas de varios servidores con tiempos de servicio y paciencia normalmente distribuidos, Whitt (2005) desarrolla un algoritmo para calcular aproximaciones de medidas de rendimiento en estado estacionario estándar. Una de sus conclusiones es que el comportamiento de la distribución de paciencia cerca del origen afecta notablemente a las medidas de rendimiento del *call center*. Más recientemente, Dai *et al* (2011) y Ward (2012) confirman esta conclusión, es decir, que se observan clientes muy impacientes en los primeros segundos de la llamada, por lo que el cálculo de la densidad de probabilidad en valores cercanos a cero puede ser no representativo y conducir a resultados inadecuados. Iravani *et al* (2008) proponen dos aproximaciones basadas en la ampliación de la cola de servidor único para obtener estimaciones de las distribuciones de tiempo de espera.

Desde el trabajo pionero de Baccelli *et al* (1981) se ha tratado el fenómeno de la impaciencia bajo varios supuestos, destacando las contribuciones de Altman *et al* (1997), Ward *et al* (2003) o Zeltyn *et al* (2005). Baccelli *et al* (1981) y Zeltyn *et al* (2005) analizan el rendimiento de los sistemas de colas con clientes impacientes, caracterizando específicamente el tiempo de espera virtual.

La evidencia empírica sobre la estimación de la distribución de la paciencia en centros de llamadas es escasa. Baccelli *et al* (1981) muestran que funciona bien una distribución Erlang con tres fases. Kort (1953) propone modelizar la distribución de la paciencia, a la espera de un tono de marcado, mediante la distribución Weibull. Brown *et al* (2005) observaron que la distribución de paciencia no es exponencial, como generalmente se asume en la literatura de los modelos de centro de llamadas, y que su modelización no suele ser paramétrica. Afirman sin embargo que es posible un ajuste a una distribución aproximadamente exponencial a partir de cierto punto del tiempo.

Mandelbaum *et al* (2013) afirman que la forma de la distribución de la paciencia es muy singular para cada *call center*, tipo de cliente específico y diversos factores adicionales relacionados con la experiencia previa de los mencionados clientes. Además simplifican la modelización de la impaciencia y afirman que los clientes son muy pacientes, situando la paciencia promedio en el intervalo de 5-20 minutos. También advierten de la necesidad de un análisis empírico propio para cada centro de llamadas.

Dada la singularidad de estas distribuciones de paciencia, en este capítulo se propone explorar varias familias de distribuciones paramétricas clásicas que proporcionen ajustes adecuados.

Se ha de tener en cuenta también que, por regla general, los datos de la impaciencia son altamente censurados y su ajuste estadístico es complejo. Se entiende por observaciones censuradas, aquellas sobre las que no se ha podido medir el evento de interés. Dado que se quiere conocer el comportamiento de la impaciencia, cuando una llamada es abandonada es posible medir el tiempo desde la entrada al centro hasta el abandono (13% de las llamadas, como se indicó en el capítulo 1), sin embargo, cuando la llamada es atendida, no es posible observar cuando se hubiese abandonado (87% de las llamadas). Por tanto, si sólo se tienen en cuenta las llamadas abandonadas, se conocerá exclusivamente la impaciencia del grupo de llamantes que abandonan, y esta circunstancia es una pérdida de información muy relevante, además de sesgar claramente los tiempos de impaciencia.

Dada la diversidad y escasa capacidad de generalización de los resultados observados en la literatura de llamadas perdidas, los objetivos de este capítulo son:

1. Calcular la probabilidad de que una llamada concreta sea atendida o no, en función del tiempo transcurrido y otras variables de oferta y demanda de servicio.
2. Calcular el tiempo de impaciencia promedio, para aplicar en la modelización de las colas del capítulo 4.
3. Profundizar en el conocimiento de la relación y agrupación de variables y factores que influyen en las llamadas perdidas.
4. Proponer modelos de pronóstico de llamadas perdidas para cada franja de cada mes, que podrían combinarse con los modelos de previsión de la demanda del capítulo 3.
5. Obtener un modelo de clasificación de llamadas en atendidas y perdidas, que permita pronosticar la pérdida de una llamada en función de las variables de la gestión operativa.
6. Analizar el grado de importancia y relación de las variables que influyen en la pérdida de llamadas, comparando los resultados obtenidos con las técnicas aplicadas en los objetivos anteriores.

En resumen, se calculará la probabilidad de que se pierda una llamada, a continuación se pronosticará por franja horaria y mes para ajustar el dimensionamiento de plantilla, y finalmente se clasificará una llamada concreta como atendida o perdida. El análisis conjunto de las técnicas propuestas permitirá profundizar en el conocimiento del fenómeno y tomar medidas para ofrecer un servicio lo más cercano posible a las necesidades del usuario, teniendo en cuenta la restricción presupuestaria.

Todo ello ha de ser posible aplicando un *software* estándar, de fácil acceso para los gestores, dado que es un objetivo de este trabajo que puedan aplicarse las distintas metodologías en el entorno empresarial. Los modelos se llevan a cabo con SPSS versión 18⁷, a excepción de los modelos paramétricos y de tiempo de fallo acelerado del análisis de supervivencia, que se realizan mediante Minitab versión 16⁸.

⁷ SPSS pasó a denominarse PASW en 2009, la información de sus prestaciones puede consultarse en www.spss.com el 9 de marzo de 2014.

⁸ Minitab es un *software* comercial cuyas prestaciones pueden consultarse en: www.minitab.com el 9 de marzo de 2014.

El capítulo se estructura en un apartado de metodología, que describe brevemente las técnicas y modelos aplicados. Un segundo apartado muestra los resultados más relevantes, y se finaliza con la discusión, conclusiones y futuras líneas de investigación.

2.1.- METODOLOGÍA

La metodología adecuada para estudiar los eventos con censura de variables del tipo “tiempo hasta que ocurra un suceso” es la denominada análisis de supervivencia (conocida como análisis de fiabilidad en Ingeniería, y modelos de duración en Economía), que se aplicará para los objetivos 1 y 2.

De otro lado, el análisis de supervivencia se realiza con la observación de cada una de las llamadas, con el objetivo de generalizar los resultados. Sin embargo, desde la óptica de la gestión empresarial, es necesario agrupar llamadas individuales en intervalos, para obtener una información más sintética y que pueda servir de apoyo a la toma de decisiones.

La metodología propuesta se aplica a las llamadas recibidas en el año 2007 en el centro de atención de llamadas de emergencias de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias (EPES), pudiendo aplicarse también a cualquier otro *call center* que opere en otro sector de actividad. Se organiza en tres bloques:

El primer bloque se ocupa de describir el comportamiento de las llamadas perdidas e identificar las variables que influyen en que se pierdan. Se trata de observar como van entrando llamadas, y el tiempo hasta que es atendida o abandonada, por tanto, es del tipo de variables de “tiempo hasta que ocurra un evento”, por lo que resulta aconsejable aplicar las técnicas de análisis de supervivencia no paramétricas (Kaplan-Meier), semiparamétricas (regresión de Cox) y paramétricas (exponencial, logística, Weibull,...). Las primeras obtienen la probabilidad de supervivencia de las llamadas recibidas con el transcurso del tiempo, la regresión de Cox es la extensión multivariante, en la que es posible incluir factores explicativos. Los procedimientos paramétricos tienen en cuenta tanto el transcurso del tiempo como variables explicativas (covariables), para obtener la probabilidad de supervivencia, y son denominados modelos de fallo acelerado, análogos a la regresión lineal. Asimismo, se aplicará una modelización por splines de la curva de supervivencia calculada por el método de Kaplan-Meier con objeto de proporcionar una fórmula más compacta del cálculo de supervivencia para los valores que tome el tiempo hasta que ocurra el suceso. Estos análisis se realizan teniendo en cuenta cada una de las llamadas recibidas y atendidas, sin agrupar en intervalos. El valor añadido que aporta este análisis es doble, de un lado se calcula la probabilidad de que una llamada concreta sea atendida, y de otro se toma como referencia de indicador de impaciencia, que es utilizado en la modelización de las colas, bien por medio de la función de supervivencia, bien a través de la función de riesgo.

El objetivo del segundo bloque es obtener pronósticos de llamadas perdidas por franjas horarias, dado que el dimensionamiento del personal se realiza atendiendo a las necesidades por franjas y meses. Un paso previo es conocer como se relacionan las variables y factores de interés, cuánta varianza explican y como consecuencia, cuáles han de tenerse en cuenta en los modelos que describan y pronostiquen las llamadas perdidas. Así, se inicia con un análisis en componentes principales que agrupa las variables en 3 funciones, se sigue con un análisis cluster con medidas de similitud y

disimilitud de variables. Con los resultados obtenidos en los dos análisis anteriores, se seleccionan las variables para un modelo de regresión lineal múltiple, pero dado que es posible encontrar pronósticos negativos, deben tenerse en cuenta los modelos lineales generalizados, siendo de aplicación una regresión de Poisson que prevé valores enteros y positivos en variables de tipo recuento (se suman las llamadas perdidas en cada franja del año), como es el caso. Si se diese sobredispersión en los resultados pronosticados se aplicaría una regresión binomial negativa. Adicionalmente se prueba un modelo de regresión *Tweedie*, ya que se tienen variables de recuento discretas (llamadas) y continuas (tiempos de transcurrido hasta que se atiende la llamada), que pueden influir en la forma de la distribución de la variable dependiente. El análisis considera las 8.760 franjas horarias del año 2007 (24*365). El valor añadido que aporta este conocimiento es doble, de un lado se profundiza en la relación y agrupación de variables y factores, y de otro, se toma como referencia el pronóstico de llamadas perdidas para cada franja de cada mes, lo que permite, dada la relación encontrada, sugerir modificaciones sobre las variables explicativas controlables, con el objetivo de no superar los umbrales de llamadas perdidas para el nivel de servicio que ofrece la empresa. Con estas metodologías se da respuesta a los objetivos 3 y 4.

El tercer bloque tiene el interés de saber si, dado un vector de valores de variables y factores explicativos para una llamada concreta, ésta va a ser atendida o si por el contrario se va a perder o abandonar. El objetivo es clasificar la llamada en atendida o perdida, se trata pues de una variable categórica dicotómica. Las técnicas de clasificación pueden ser diversas, y se aplicarán un análisis discriminante, una regresión logística binaria, y dos modelos de red neuronal (perceptrón multicapa, y red de base radial). Se comparan las técnicas con la finalidad de determinar cuál se ajusta mejor a los valores observados de cada llamada. El análisis se hace sobre todas las llamadas recibidas individualmente consideradas. El valor añadido que aporta este conocimiento nuevamente es doble. De un lado se obtiene un instrumento que permite pronosticar la clasificación de las llamadas en atendidas y perdidas en la gestión operativa, de acuerdo a los valores que están tomando las variables explicativas. De otro lado, permite comparar el grado de importancia y relación de las variables con respecto a las técnicas aplicadas en los dos bloques metodológicos anteriores. Con estas metodologías se da respuesta a los objetivos 5 y 6.

El conjunto de variables y factores que se tienen en cuenta en los tres bloques son los siguientes:

1. Número de llamadas perdidas: Cuantitativa
2. Número de llamadas recibidas: Cuantitativa
3. Franja horaria: Categórica
4. Mes: Categórica
5. Día de la semana: Categórica
6. Tipo de línea: Categórica
7. Número de teleoperadores: Cuantitativa
8. Tiempo transcurrido hasta que se pierde la llamada: Cuantitativa
9. Tiempo transcurrido hasta que se atiende la llamada: Cuantitativa

10. Tiempo medio de ocupación de las llamadas: Cuantitativa

A continuación se describen brevemente cada una de las metodologías aplicadas.

2.1.1.- Análisis de Supervivencia para la atención de llamadas en el *call center* de emergencias sanitarias.

Como se ha mencionado, las técnicas de análisis de supervivencia son las adecuadas para el tratamiento de datos con censura. La censura se entiende como las observaciones en las que no se presenta el suceso de interés, habitualmente porque las unidades de estudio no lo presentan durante el periodo de observación, o bien porque abandonan el estudio antes de presentar el suceso. Para el caso de las llamadas perdidas o abandonadas, sólo se observa la impaciencia de las que finalmente abandonan y se miden en distintos momentos temporales, es lo que se conoce como censura múltiple. Cuando se presenta censura no es posible aplicar las técnicas estadísticas habituales, porque carece de sentido realizar cualquier comparación de parámetros, ya que se tiene un alto porcentaje de llamadas en las que no se ha observado el suceso de interés.

En análisis de supervivencia adquieren especial relevancia dos funciones que describen su comportamiento:

1. Función de supervivencia, $S(t)=P(T>t)$, indica la probabilidad de que el tiempo de supervivencia T sea mayor que t . En este caso, la probabilidad de supervivencia de una llamada hasta el instante t .

2. Función de riesgo o tasa de fallo o función de impacto, $h(t)$ indica el riesgo de fallo, de que se pierda una llamada, en un instante t , condicionado a que la llamada no se ha perdido hasta ese instante t .

En relación con estas funciones que caracterizan la distribución de la información, pueden deducirse la función de distribución de probabilidad $F(t)$ como $F(t)=1-S(t)$, y la función de densidad como $f(t)=S(t)*h(t)$.

Tradicionalmente su estudio se aborda con modelos no paramétricos, semiparamétricos, y paramétricos, que se explican a continuación (Fuentelsaz *et al*, 2004).

2.1.1.1.- Análisis no paramétrico de supervivencia para la atención de llamadas en el *call center* de emergencias sanitarias mediante el estimador de Kaplan-Meier⁹.

Es un método no paramétrico (no asume ninguna función de probabilidad), que se estima por máxima verosimilitud, es decir, se basa en maximizar la función de verosimilitud de la muestra. Una muestra aleatoria de tamaño n , extraída de una población, estará formada por k ($k \leq n$) tiempos $t_1 < t_2 < \dots < t_k$, en los que se observan eventos. En cada tiempo t_i existen n_i "individuos en riesgo" (elementos de la muestra para los que el evento puede ocurrir, o que el tiempo de supervivencia $T \geq t_i$) y se observan d_i eventos. Además en el intervalo $[t_i, t_{i+1}]$ se producen m_i pérdidas.

Se puede demostrar que la función de verosimilitud para toda la muestra es:

⁹ La descripción de esta metodología se basa en la documentación que la Unidad de Bioestadística del Hospital Ramón y Cajal de Madrid tiene en su web (24 de marzo de 2014).

$$L = \prod_{i=1}^k h_i^{d_i} (1 - h_i)^{n_i - d_i}$$

Para construir esta función se ha asumido que la información contenida en las pérdidas es que, para cada una de ellas, el evento ocurre en un tiempo mayor que el tiempo en que se observa la pérdida. Maximizando esta función se encuentra que el estimador de la función de riesgo es:

$$\hat{h}_i = \frac{d_i}{n_i} \quad i = 1, 2, \dots, k$$

y para la función de supervivencia, el denominado estimador producto límite o de Kaplan-Meier:

$$\hat{S}(t_i) = \prod_{j|t_j < t_i} \left(1 - \frac{d_j}{n_j}\right)$$

La comparación de estimadores se realiza con la prueba del *log-rank*, Breslow, y Tarone-Ware.

2.1.1.2.- Análisis Semiparamétrico de supervivencia para la atención de llamadas en el *call center* de emergencias sanitarias mediante la regresión de Cox¹⁰

Lo más común en cualquier análisis estadístico es que se intente explicar un fenómeno considerando varias variables simultáneamente.

Si dispone de dos variables de desenlace del evento:

1- Si se ha perdido la llamada: 1 = se pierde

0 = no se pierde

2- Cuánto tiempo ha transcurrido (hasta perderse o hasta acabar el periodo de observación)

La primera variable es cualitativa dicotómica, la segunda es el tiempo de observación, que es cuantitativa. Se deben combinar ambas, siguiendo técnicas análogas a las del análisis de supervivencia. Cuando se desea aplicar un análisis multivariante en esta situación, se aplicará la regresión de Cox o *proportional hazards model* (Altman *et al*, 1994), que es una extensión multivariante de los métodos de Kaplan-Meier.

Está indicado su uso cuando la variable dependiente esté relacionada con la supervivencia de un grupo de sujetos (llamadas perdidas) o, en general, con el tiempo que transcurre hasta que se produce en ellos un suceso o evento. Se usa para valorar simultáneamente el efecto independiente de una serie de variables explicativas o factores pronósticos sobre esta supervivencia o sobre la tasa de ocurrencia de otro fenómeno que vaya ocurriendo tras un periodo de tiempo variable en cada sujeto.

Es una técnica que permite identificar y evaluar la relación entre un conjunto de variables explicativas y la tasa de ocurrencia del suceso de interés. El modelo de regresión de Cox también permite predecir las probabilidades de supervivencia para un determinado sujeto a partir del patrón de valores que presenten sus variables pronósticos (o, en general de permanencia libre del evento).

¹⁰ La descripción de esta metodología se basa parcialmente en el capítulo 12 de introducción a los modelos multivariantes de M.A. Martínez-González y otros disponible en la web de la Universidad de Navarra.

Cuando se emplea el modelo de regresión de Cox se asume que la razón de tasas instantáneas es constante a lo largo del tiempo, sin embargo, en ocasiones, este supuesto no es del todo realista y por ello es aplicable un modelo extendido de regresión de Cox, que tiene en cuenta que la tasa de riesgo no sea proporcional. El modo en que se opera para superar que los riesgos no sigan el supuesto proporcional es incorporar una covariable dependiente del tiempo, que habitualmente es el producto del tiempo de observación por cada factor o categoría en la que la proporcionalidad no es asumible (tipos de línea, meses y franjas horarias).

En la interpretación de una regresión de Cox, el parámetro de asociación es una *hazard ratio*. Para entender una *hazard ratio* (tasa de riesgo) es preciso entender antes qué es una *hazard*. El término *hazard* (λ) corresponde a una tasa instantánea, que conceptualmente sólo requiere una duración de tiempo infinitesimal (instantánea) para que ocurra el suceso.

$$\text{hazard}_t = \lambda_t = \frac{\text{sucesos ocurridos en el instante } t}{\text{sujetos a riesgo en el instante } t} = \frac{d_t}{n_t}$$

Una *hazard ratio* es simplemente una razón de *hazard*. Para comparar dos grupos (“a” y “b”) se dividirá una *hazard* entre otra. Por ejemplo, si se supone respectivamente una *hazard* de 0,2 para el grupo “a” y de 0,33 para el “b”, tomándose como referencia el grupo “a”, la *hazard ratio* para el grupo “b” (respecto al “a”) será:

$$\text{hazard ratio} = \text{HR} = \frac{\text{hazard}_b}{\text{hazard}_a} = \frac{0,33}{0,2} = 1,67$$

Por lo que el grupo “b” tiene una mortalidad que es 1,67 veces mayor que la del “a” (un 67% superior).

Lo que hace el modelo de Cox es promediar de manera ponderada las *hazard ratios* de los diversos momentos en los que se produce alguna llamada perdida. Viene a ser como hacer muchas regresiones logísticas, una para cada momento en que se observa alguna llamada perdida.

La ecuación de la regresión de Cox es:

$$\ln(\lambda_t) = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p$$

En la regresión de Cox, la respuesta depende del tiempo y la variable dependiente es el logaritmo del *hazard* o tasa instantánea del evento. La tasa se diferencia del riesgo en que la tasa tiene en cuenta el tiempo (llamadas perdidas por unidad de tiempo) mientras que el riesgo sólo es una proporción y no tiene en cuenta más que el número de llamadas inicialmente a riesgo de perderse. La tasa instantánea o *hazard* de perder la llamada en el instante “t” se obtendría, según el modelo de Cox antes visto al tomar antilogaritmos:

$$\lambda_t = e^{a+b_1x_1+b_2x_2+\dots+b_px_p} = e^a * e^{b_1x_1+b_2x_2+\dots+b_px_p}$$

$$e^a = \lambda_0$$

$$\lambda_t = \lambda_0 e^{b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_p x_p}$$

Esta expresión procede de la anterior, ya que se ha denotado λ_0 a la exponencial de lo que antes se denotó por "a". Es decir, λ_0 viene a ser algo análogo a la ordenada en el origen y es la tasa (*hazard*) basal cuando todas las variables independientes x_i valen 0.

$$\text{Si } x_1=0, x_2=0, \dots, x_p=0 \rightarrow \lambda_t = \lambda_0$$

La supervivencia a tiempo t (S_t) no es una cantidad numérica única, sino que va variando en función del tiempo, lo mismo sucede en el modelo de Cox con las tasas instantáneas o *hazards* en las que se basa. Tanto λ_t como λ_0 irán variando a lo largo del tiempo de observación o seguimiento durante el cual se prolongue el estudio. Se demuestra que, para un factor pronóstico dicotómico x_i que valga 1 para los expuestos a ese factor y 0 para los no expuestos, el *hazard* relativo o *Hazard Ratio* (*HR*) para ese factor valdrá:

$$HR = \text{antilog}(b_i) = e^{b_i}$$

Esta cantidad (*Hazard Ratio* o *HR*) es un cociente entre el riesgo instantáneo de perderse una llamada en los que están expuestos a un factor y el riesgo instantáneo de perderse una llamada en los que no están expuestos a ese factor. Este concepto se parece mucho al riesgo relativo o cociente entre dos riesgos. Pero cuando se habla de riesgos se suele hacer referencia simplemente a proporciones. En cambio la regresión de Cox lo que estima no son proporciones, sino tasas. Por eso el *HR* más que un riesgo relativo estima una razón de densidad de incidencia o razón de tasas. Por lo tanto, su utilidad es expresar la rapidez relativa con la que una llamada pasa de un estado a otro. Esto se expresa con el término inglés *hazard*, que es la tasa instantánea de ocurrencia del suceso de que se trate. La *HR* (exponenciales de los coeficientes dados por el modelo) es la razón entre dos *Hazards*. Una *HR* sería por ejemplo el cociente entre el riesgo instantáneo (*hazard*) en un tipo de llamadas, por ejemplo en perdidas, y el *hazard* en las atendidas, siempre que a éstas se las haya considerado como referencia. Por todo ello, la "*Hazard Ratio*" expresa cuantas veces es más rápida la ocurrencia de un suceso u otro fenómeno en un grupo que en otro. Viene a ser como un cociente entre dos velocidades.

2.1.1.3.- Modelos Paramétricos de supervivencia para la atención de llamadas en el *call center* de emergencias sanitarias¹¹

Consisten en asumir que el comportamiento de la variable tiempo de supervivencia se puede ajustar por algún tipo de función de probabilidad, cuyos parámetros son estimados por mínimos cuadrados o por máxima verosimilitud. Los métodos paramétricos se suelen considerar más potentes que los no paramétricos, cuando es posible encontrar una función de ajuste adecuada, ya que proporcionan una fórmula más compacta para su uso con fines predictivos¹², además de ser más precisos cuando se realiza inferencia sobre ellos. En el *software* comercial Minitab se pueden encontrar 11 distribuciones distintas para el ajuste a datos de supervivencia. Se expone a continuación el modelo en el que el tiempo de supervivencia se puede ajustar mediante una función de probabilidad Normal.

¹¹ La descripción de esta metodología se basa parcialmente en el curso de confiabilidad de P. Reyes Aguilar de diciembre de 2006.

¹² Se entiende por una fórmula más compacta en los modelos de supervivencia como la reducción a una fórmula, que permite la obtención de los valores de supervivencia en lugar de una tabla que contiene la probabilidad de supervivencia para cada intervalo temporal que se haya establecido. En este capítulo, al considerar 60 segundos se necesitaría una tabla de 60 filas dispuestos los segundos en filas y una columna con la probabilidad de supervivencia para cada segundo.

La distribución normal para el tiempo de supervivencia no es muy utilizada, dado su comportamiento simétrico, porque habitualmente el comportamiento del tiempo de vida es asimétrico, sin embargo, es un modelo adecuado cuando muchos factores tienen un efecto aditivo en la supervivencia del evento de interés. Aquí μ es el parámetro de localización y σ es el parámetro de escala.

Sus funciones básicas de densidad, distribución y supervivencia son las siguientes:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad \text{Función de densidad}$$

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(x)dx = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad \text{Función de distribución}$$

$$R(t) = 1 - \int_{-\infty}^t f(x)dx = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad \text{Función de Supervivencia}$$

$$R(T) = \int_T^{\infty} f(t)dt = \int_T^{\infty} \frac{1}{\sigma_T\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma_T}\right)^2} dt$$

La vida media y la función cuantil están dadas por:

$$E(T) = \mu$$

$$t_p = \mu + \sigma\Phi^{-1}(p)$$

Donde Φ^{-1} es la función inversa de la distribución normal estándar acumulada.

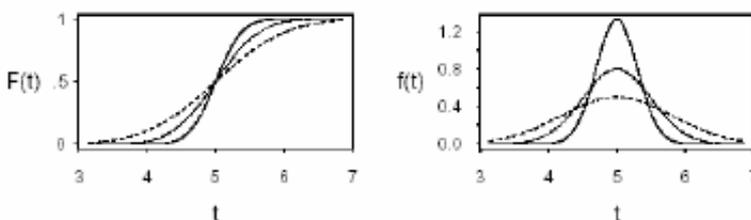
La función de riesgo $h(t)$, también denotada como $\lambda(t)$ es la siguiente:

$$\lambda(T) = \frac{f(T)}{R(T)} = \frac{\frac{1}{\sigma_T\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{T-\mu}{\sigma_T}\right)^2}}{\int_T^{\infty} \frac{1}{\sigma_T\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma_T}\right)^2} dt}$$

A continuación se exponen ejemplos de cómo cambia la forma de las funciones de distribución, densidad, y riesgo cuando se modifica la varianza o parámetro de escala, manteniendo constante la media o parámetro de localización. Se observa como a medida que se reduce la varianza aumenta el riesgo.

$$f(T) = \frac{1}{\sigma_T\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{T-\mu}{\sigma_T}\right)^2}$$

$$f(T) \geq 0, -\infty < T < \infty, -\infty < \bar{T} < \infty, \sigma_T > 0$$



Hazard Function

Modelos de Tiempo de Fallo Acelerado: Distribución Normal

Como se ha mencionado, son análogos a la regresión lineal, pero teniendo en cuenta la presencia de datos censurados y con la ventaja de poder incluir covariables que expliquen el fenómeno. Para distribuciones de la familia localización-escala (Normal, Logística, valores extremos) la función de distribución sería:

$$P(T \leq t) = F(t; \mu, \sigma) = F(t; \beta_0, \beta_1, \sigma) = \Phi \left[\frac{t - \mu}{\sigma} \right]$$

Siendo β los coeficientes de la ecuación de regresión, μ es el parámetro de localización (media) y σ es el parámetro de escala (varianza).

Con media:

$$\mu = \mu(x) = \beta_0 + \beta_1 x$$

Y t_p : percentil de orden P, es decir, la forma linealizada de la ecuación de regresión:

$$t_p = \mu(x) + \Phi^{-1}(p)\sigma$$

resultando la estimación como la media μ más la varianza σ multiplicada por el percentil de orden p de la inversa de la distribución de los residuos (Φ^{-1}), que es una Normal (0,1).

Sus residuos se definen como un cociente entre la diferencia de valores reales y estimados, divididos por la varianza estimada.

$$\hat{\epsilon}_i = \frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{\sigma}}$$

2.1.1.4.- Splines para el ajuste del estimador Kaplan-Meier

El método de suavización por *splines* es una herramienta que describe la variación de la media de una variable Y en función una o más variables no estocásticas X_1, \dots, X_k (Lima

et al, 2001)¹³. Cuando la variación de la media de Y se describe en términos de una sola variable X , el suavizador es denominado unidimensional, por el contrario, cuando se describe en términos de k variables, X_1, \dots, X_k , se denomina suavizador multidimensional.

En la mayoría de los casos, el suavizador se utiliza para ajustar el modelo:

$$y_i = f(X_i) + \varepsilon_i, \quad i=1, \dots, n,$$

Donde f es una función no especificada, que se ajusta como una regresión no paramétrica, y ε_i son errores aleatorios distribuidos de forma independiente con media cero y varianza σ^2 .

En gran parte de las técnicas de suavización, el valor suavizado se obtiene sobre la base de un promedio de t observaciones alrededor de un determinado valor x_i , así pues, distintas formas de cálculo de este promedio alrededor de x_i definen diferentes métodos de suavización.

La curva suavizada y curva ajustada se construye sobre la base de puntos (x_i, \hat{y}_i)

Donde \hat{y}_i es el valor esperado (por suavización) de Y para $X=x_i$. Estos valores se obtienen sin la adopción de un modelo paramétrico sobre Y y X .

La idea de este procedimiento es permitir la confluencia de dos o más curvas de manera suave, pasando por puntos prefijados. La implementación de esta idea para el ajuste del modelo se lleva a cabo con el fin de tener una regresión polinomial por partes. Para trabajar con el ajuste y la interpolación de funciones, la aproximación por polinomios es muy conveniente, ya que los polinomios tienen muchas propiedades interesantes que permiten calcular las derivadas de cualquier orden de los mismos. Sin embargo, la necesidad de muchas derivadas de la función que se aproxima por polinomios puede ser muy restrictiva. Una forma de evitar este problema es el uso de polinomios por partes, de esta manera se puede escapar del análisis de todo el intervalo, permitiendo discontinuidades de las derivadas de orden superior en algunos puntos. Esa característica de “*pseudo-análisis*” ofrece funciones polinómicas por partes, denominadas *splines*, con propiedades de aproximación, de estabilidad y convergencia (Cunha, 2000).

La forma que se aplica en este capítulo es análoga a una regresión cúbica cuya formulación formal es la siguiente:

$$s(x) = \beta_1 + x\beta_2 + x^2\beta_3 + x^3\beta_4$$

Siendo $s(x)$ la estimación de supervivencia acumulada en un momento x , y β_i los coeficientes de regresión calculados.

Cabe destacar que los *splines* gozan de propiedades tales como la existencia, unicidad y flexibilidad, además de ser fáciles de calcular computacionalmente en comparación con otros métodos de suavizado. En particular los *splines* cúbicos han sido ampliamente utilizados en la estimación no paramétrica (Eubank, 1994).

¹³ Los valores que toman los regresores X_k son considerados fijos en muestreo repetido, lo que quiere decir que las variables X_k se consideran no estocásticas. Este supuesto implica que el análisis de regresión resuelto por mínimos cuadrados ordinarios es un análisis condicionado a los valores dados de los regresores.

2.1.2.- Pronóstico de llamadas perdidas.

2.1.2.1.- Análisis de Componentes Principales¹⁴

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de la dimensión (número de variables). Es decir, ante una base de datos con muchas variables, el objetivo es reducirlas a un menor número, perdiendo la menor cantidad de información posible. Los nuevos componentes principales o factores serán una combinación lineal de las variables originales, y además serán independientes entre sí.

Un aspecto clave en ACP es la interpretación de los factores, ya que ésta no viene dada a priori, sino que será deducida tras observar la relación de los factores con las variables iniciales, por lo que habrá que estudiar tanto el signo como la magnitud de las correlaciones.

Fases de un análisis de componentes principales:

1.- Análisis de la matriz de correlaciones:

Un análisis de componentes principales tiene sentido si existen altas correlaciones entre las variables, ya que esto es indicativo de que existe información redundante y, por tanto, pocos factores explicarán gran parte de la variabilidad total. En este capítulo se aplica la prueba de esfericidad de Bartlett, que indica si las variables en estudio están correlacionadas, dado que si no lo estuvieran no existirían factores comunes y por tanto no tendría sentido el ACP. Asimismo, la adecuación muestral global al modelo factorial se evalúa por la medida de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), basada en los coeficientes de correlación observados de cada par de variables y en sus coeficientes de correlación parcial. En caso de que exista adecuación de los datos al modelo, la medida KMO será próxima a la unidad, considerándose adecuado a partir de valores superiores a 0,5.

2.- Selección de los factores:

La elección de los factores se realiza de forma que el primero recoja la mayor proporción posible de la variabilidad original, el segundo factor debe recoger la máxima variabilidad posible no recogida por el primero, y así sucesivamente. Del total de factores se elegirán aquéllos que recojan el porcentaje de variabilidad que se considere suficiente, que son los denominados componentes principales.

3.- Análisis de la matriz factorial

Una vez seleccionados los componentes principales, se representan en forma de matriz. Cada elemento de la misma representa los coeficientes factoriales de las variables (las correlaciones entre las variables y los componentes principales). La matriz tendrá tantas columnas como componentes principales y tantas filas como variables.

4.- Interpretación de los factores

Para que un factor sea fácilmente interpretable debe tener las siguientes características:

- Los coeficientes factoriales deben ser próximos a 1.

¹⁴ La descripción de esta metodología se basa parcialmente en documentación disponible a fecha de 26 de marzo de 2014 en la web de la Universitat Oberta de Catalunya. Proyecto E-Math, de Terrádez Gurrea M.

- Una variable debe tener coeficientes elevados sólo con un factor.
- No deben existir factores con coeficientes similares.

En ocasiones no se observan adecuadamente estas características, para ello ha de procederse a procedimientos como la rotación factorial, que transforma la matriz factorial inicial en otra más fácil de interpretar. Consiste en una combinación lineal de la primera que explica la misma cantidad de varianza inicial, así los factores rotados tratan de que cada una de las variables originales tenga una correlación lo más próxima a uno que sea posible con uno de los factores, y correlaciones próximas a cero con los restantes, consiguiendo así correlaciones altas con un grupo de variables y baja con el resto. En este capítulo se aplicará la rotación Varimax, que minimiza la variabilidad de los coeficientes para cada factor, reduciendo así el número de variables que tienen alta saturación en un factor.

5.- Cálculo de las puntuaciones factoriales

Son las puntuaciones que tienen los componentes principales para cada valor observado, que además permiten su representación gráfica. Se calculan mediante la expresión:

$$X_{ij} = a_{i1} \cdot Z_{1j} + \dots + a_{ik} \cdot Z_{kj} = \sum_{s=1}^k a_{is} \cdot Z_{sj}$$

donde los a_i son los coeficientes y los Z son los valores estandarizados que tienen las variables en cada uno de los sujetos de la muestra.

2.1.2.2.- Análisis Cluster Jerárquico¹⁵

El análisis cluster es un conjunto de técnicas multivariantes utilizadas para clasificar a un conjunto de individuos en grupos homogéneos. Así pues, el objetivo es obtener clasificaciones (*clusterings*), teniendo por lo tanto, el análisis un marcado carácter exploratorio.

Se trata, fundamentalmente, de resolver el siguiente problema: Dado un conjunto de individuos (de N elementos) caracterizados por la información de n variables X_j , ($j = 1, 2, \dots, n$), clasificarlos de manera que los individuos pertenecientes a un grupo (cluster), y siempre con respecto a la información disponible, sean tan similares entre sí como sea posible, siendo los distintos grupos entre ellos tan disimilares como sea posible.

Con el análisis cluster se pretende encontrar un conjunto de grupos a los que ir asignando los distintos individuos por algún criterio de homogeneidad. Por lo tanto, se ha de definir una medida de similitud o bien de divergencia para ir clasificando a los individuos en unos u otros grupos.

Se comienza la agrupación considerando cada elemento individual como un cluster inicial, que posteriormente se irá agrupando hasta obtener los clusters finales. Básicamente, el análisis constará de un algoritmo de clasificación que permitirá la obtención de una o varias particiones, de acuerdo con los criterios establecidos.

El proceso completo puede estructurarse de acuerdo con el siguiente esquema:

¹⁵ La descripción de esta metodología se basa parcialmente en documentación de la Universidad de Valencia. Proyecto CEACES.

- Se parte de un conjunto de N individuos de los que se dispone de una información cifrada por un conjunto de n variables.
- Se establece un criterio de similaridad para poder determinar una matriz de similaridades que permita relacionar la semejanza de los individuos entre sí (matriz de N*N individuos).
- Se escoge un algoritmo de clasificación para determinar la estructura de agrupación de los individuos.
- Se especifica esa estructura mediante diagramas arbóreos o dendogramas u otros gráficos.

En este capítulo la clasificación de variables se caracteriza por:

- a) Selección de las variables: Número de médicos coordinadores, número de teleoperadores, día de la semana, franja horaria, mes, y tipo de línea.
- b) Criterio de similaridad a utilizar: Distancia Euclídea para similitud y correlación de Pearson para disimilitud.
- c) Seleccionar el algoritmo de clasificación: Método de Ward

2.1.2.3.- Regresión lineal múltiple¹⁶

El modelo de regresión múltiple es una generalización a varias variables de un modelo de regresión simple. La ecuación de la regresión lineal simple es:

$$y = a + bx$$

donde y es la variable dependiente y x es la variable independiente. Esta ecuación se generaliza para el caso en que haya más de una variable independiente. Suponiendo que haya i variables independientes: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_i$, se puede construir la ecuación:

$$y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + \dots + b_i x_i$$

A cada variable independiente x_i se le asocia un coeficiente de regresión o pendiente propia b_i que se interpreta como el cambio en la variable dependiente (y), por unidad de cambio en cada variable independiente ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_i$) a igualdad de nivel de las otras variables independientes.

El objetivo es encontrar la ecuación que mejor se ajuste a los puntos observados. En una regresión múltiple el procedimiento de estimación calcula la superficie que mejor se ajusta a la nube de puntos observados por el método de mínimos cuadrados, que minimiza las distancias desde cada punto observado hasta el plano (residuales).

El modelo se basa unos supuestos:

1. Las variables están relacionadas linealmente.
2. La distribución de la variable dependiente condicionada a cada posible combinación de valores de las independientes es una distribución normal multivariante.

¹⁶ La descripción de esta metodología se basa parcialmente en el capítulo 12 de introducción a los modelos multivariantes de M.A. Martínez-González et al (2010).

3. Las variables son independientes unas de otras.
4. Homogeneidad de las varianzas (homocedasticidad): las varianzas de la variable y condicionadas a los valores de x son homogéneas.
5. Ausencia de autocorrelación.
6. Ausencia de multicolinealidad.

2.1.2.4.- Modelos Lineales Generalizados¹⁷

Durante años la modelización aplicada mayoritariamente ha sido la regresión lineal general explicada en el epígrafe anterior, que se utilizaba para describir la mayoría de los fenómenos aleatorios, aún en los casos en que era razonable suponer una distribución no normal para el comportamiento de la variable dependiente. En ocasiones se aplican transformaciones (logarítmicas, raíz cuadrada, etc.), para tratar de obtener normalidad, que garanticen los supuestos de varianza constante y linealidad en los parámetros. Este hecho plantea dos dificultades, la primera es que en pocas ocasiones se consigue el cumplimiento de los supuestos básicos del modelo lineal, y la segunda es que el cambio de escala de las transformaciones, no siempre tiene significado en el área de estudio, dado que las conclusiones se aplican a las poblaciones transformadas. Mientras que el supuesto de linealidad concierne a la construcción del modelo, los otros dos, normalidad y homogeneidad de varianzas se relacionan con la variación aleatoria y no hay garantía de que ambos requisitos resulten de la misma transformación.

Nelder y Wedderburn (1972) plantearon una alternativa para solucionar las dificultades mencionadas, introduciendo los denominados modelos lineales generalizados (MLG). Estos modelos permiten que la distribución de la variable explicada pertenezca a una familia más amplia de distribuciones, la familia exponencial (funciones de densidad Normal, Gamma, Normal Inversa, distribuciones de probabilidad Poisson, Binomial, Multinomial, etc), así como que la relación entre el valor esperado (media) de la variable y la combinación lineal de los parámetros (parte sistemática del modelo) no sea siempre la identidad, sino cualquier función monótona. Además el supuesto de varianzas constantes puede ser relajado, ya que se permite usar funciones de varianza, por ejemplo, en una Binomial, la varianza es función de la media. Estos modelos pueden trabajar con variables continuas, discretas, categóricas, y con relaciones funcionales de tipo no lineal. La estimación de los parámetros se realiza a través de un proceso iterativo, y la medida de bondad de ajuste se denomina *deviance*¹⁸, que es utilizada en el ajuste del modelo y en las etapas de diagnóstico. El método de estimación se basa en el principio de máxima verosimilitud, por lo que los estimadores que se obtienen tienen buenas propiedades estadísticas.

¹⁷ La descripción de esta metodología se basa parcialmente en documentación de Díaz de la Universidad de Córdoba (Argentina), de Alegre AR de la Universidad de Lima (Perú), y de Tascheri (2009).

¹⁸ No existe un término en español para su traducción, su denominación original es *Deviance* cuyo valor se obtiene a partir de la expresión: $D(q) = 2\log L(q_{obs}) - 2\log L(\hat{q})$ donde $\log L(q_{obs})$ y $\log L(\hat{q})$ son los valores de la log-verosimilitud para los qx observados y estimados (\hat{q}), respectivamente. La *Deviance* mide la discrepancia entre la log-verosimilitud de los datos y la del modelo utilizado, en consecuencia, maximizar la verosimilitud equivale a minimizar $D(q)$. Usaremos desviación en este trabajo

Los componentes de los MLG son el componente aleatorio, componente sistemático y la función de enlace entre ambos componentes. Se asume que la función de densidad de la variable aleatoria Y pertenece a la familia exponencial.

$$f_Y(y; \theta; \phi) = \exp \left\{ \frac{y\theta - b(\theta)}{\alpha(\phi)} + c(y, \phi) \right\}$$

donde θ es llamado el parámetro natural y ϕ el parámetro de escala, que es el componente aleatorio del modelo. El valor esperado de Y , denotado por μ , está relacionado con el conjunto de covariables X_1, X_2, \dots, X_p por $g(\mu) = \eta$, donde $\eta = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p$ es el predictor lineal, que es el componente sistemático y $g(\cdot)$ es la función de enlace. Nótese que la media μ está relacionada con el parámetro natural θ por $\mu = b'(\theta)$. Además, la función de enlace más utilizada para un f dado se llama vínculo canónico, por lo que $\eta = \theta$. Para definir el modelo en términos de μ y $\eta = g(\mu)$, θ no juega un rol importante, por lo que podría escribirse $f_Y(y, \theta, \phi)$ como $f_Y(y, \mu, \phi)$ y la estimación de $\mu = E[Y]$ no implicará el parámetro de escala ϕ que se asume conocido.

En resumen, la componente sistemática equivale al vector de parámetros estimados de covariables, la componente aleatoria es análoga a los residuos o términos de error entre lo observado y lo estimado por el modelo, y la función de enlace es una función aplicada sobre la variable dependiente o predictor, que devuelve la escala de trabajo del modelo (normalmente logarítmica) a la escala de origen del predictor del modelo.

La tabla 2.1 a continuación expone la función de enlace, de varianza y *deviance* de los MLG más habituales.

Tabla 2.1: Función de enlace, varianza y deviance de los modelos lineales generalizados más habituales.

Familia	Función de enlace	Función varianza	Devianza
Normal	$\eta = \mu$	1	$\sum (y_i - \hat{\mu}_i)^2 / \sigma^2$
Poisson	$\eta = \log \mu$	μ	$2 \left\{ \sum y_i \ln(y_i / \hat{\mu}_i) - \sum (y_i - \hat{\mu}_i) \right\}$
Binomial*	$\eta = \log(\mu / (1 - \mu))$	$\mu(1 - \mu)$	$2 \left[\sum y_i \ln(y_i / \hat{\mu}_i) + \sum (n - y_i) \ln \left\{ (n - y_i) / (n - \hat{\mu}_i) \right\} \right]$
Gamma**	$\eta = \log \mu$	μ^2	$2p \left\{ -\sum \ln(y_i / \hat{\mu}_i) + \sum (y_i - \hat{\mu}_i) / \hat{\mu}_i \right\}$
Tweedie**	$\eta = \log \mu$	$\mu^v, 1 < v < 2$	$2 \sum \frac{y_i^{2-v} - (2-v)y_i \hat{\mu}_i^{1-v} + (1-v)\hat{\mu}_i^{2-v}}{(1-v)(2-v)}, v \in \{1, 2\}$

*La función de enlace canónica de la familia Binomial también se conoce como función logit. **En el caso de la familia Gamma, la función de enlace canónica es μ^{-1} no $\log \mu$. En el caso de la familia Tweedie, la función de enlace canónica es $1-v$ no $\log \mu$, donde v es el exponente de la función varianza. Para esta última familia, la expresión en la columna cuatro de la tabla es la cuasi-devianza.

Fuente: Tascheri (2009), pág. 25

La distribución de Poisson es la estándar para modelar variables de recuento (*count data*) en el ajuste de MLG que impliquen distribuciones estadísticas para este tipo de variables, sin embargo recientemente las distribuciones compuestas Poisson-Gamma (también denominadas *Tweedie*) están siendo objeto de una aplicación creciente en el análisis de regresión (Candy, 2004; Shono, 2008).

2.1.2.4.1.- Modelo de regresión de Poisson

Los datos sobre el número de llamadas perdidas por franja se modelan a través de la distribución de Poisson. Si se supone que las variables aleatorias Y_i , $i = 1, \dots, n$ con $n=8760$ (24 franjas horarias de cada uno de los 365 días del año), se comportan siguiendo una distribución de Poisson con parámetro de media μ_i , $Y_i \sim P(\mu_i)$. Es de esperar que $E(Y_i) = \mu_i$ y $\text{Var}(Y_i) = \mu_i$.

Se ajusta un MLG Poisson con las variables explicativas número de llamadas recibidas, número de operadores, número de médicos coordinadores, tiempo transcurrido hasta que se pierde la llamada, franjas horarias y meses, e interacciones entre las variables. El modelo se explicita:

$$Y_i = \text{Log}(\mu)$$

$$\text{Log}(\mu) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_i X_i + \varepsilon$$

siendo μ el vector de promedios del número de llamadas perdidas por franja, y β_i los coeficientes estimados de cada una de las variables explicativas o covariables.

En ocasiones suele presentarse el fenómeno de sobredispersión, que consiste en que la varianza del modelo ajustado es superior a la media, lo que indica una violación de los supuestos de la distribución de Poisson (igualdad de media y varianza).

2.1.2.4.2.- Modelo de regresión Binomial Negativa

Una alternativa que puede resultar más realista para tratar la sobredispersión, es no suponer que hay un mismo factor o variable afectando a la media de todas las llamadas perdidas, sino suponer que:

$$\text{Var}(Y_i) = \mu_i + \alpha \mu_i^2$$

Para ello el modelo se formaliza de igual manera que el modelo de regresión de Poisson pero ahora se asume que Y tiene distribución Binomial Negativa. Es interesante notar que la regresión Binomial Negativa es una extensión de la regresión de Poisson con un supuesto de varianza más general, y equivalentes cuando el parámetro α es igual a cero.

En la literatura sobre modelos lineales generalizados, se propone utilizar el criterio de información de Akaike, AIC, o el criterio de información bayesiano, BIC, para la selección del modelo más adecuado.

2.1.2.4.3.- Modelo compuesto Poisson-Gamma (o modelo Poisson compuesto de *Tweedie*)

Una clase de modelos de dispersión exponencial apropiados para modelar datos en los que intervienen variables discretas (llamadas recibidas, operadores, médicos) y continuas (diversos tiempos de espera y de atención) es la de los modelos que presentan una relación potencial entre la media y la varianza $b''(\theta) = \phi \mu^\nu$. Las distribuciones con exponente ν en el rango $1 \leq \nu \leq 2$ son particularmente adecuadas para modelar datos en los que es posible encontrar ceros. Para ajustar estos modelos se utiliza el algoritmo estándar de un MLG, asumiendo el exponente como constante y conocido. Cuando

$1 < \nu < 2$, la distribución de $Y=y$ es intermedia entre una distribución de Poisson y una Gamma.

Sea N_i el número de llamadas perdidas y recibidas observadas en el intervalo horario i y W_i los tiempos de espera y atención total de ambos tipos de llamadas. Entonces suponiendo que N_i se distribuye Poisson con media λ y W_i se distribuye Gamma con media μ y varianza $\phi\mu^2$ ($i=1, 2, \dots, N$). La distribución de Y tiene una masa distinta de cero en $Y=0$ y es una densidad compuesta continua/discreta denominada compuesta Poisson-Gamma (Smyth y Jørgensen, 2002; Candy, 2004; Dunn y Smyth, 2005). El exponente debe ser estimado separadamente y en la modelización de datos de llamadas y tiempos se ha empleado la exploración de una parilla de valores para ν en el intervalo $1 < \nu < 2$.

La aproximación *Saddlepoint* tiene en cuenta que la familia de distribuciones *Tweedie* pertenece a la clase de modelos de dispersión exponencial (MDE) (Nelder *et al*, 1987). Las distribuciones *Tweedie* son los MDE con una variación de la forma $\text{var}[Y]=\phi\mu^\nu$ donde ν es mayor o igual a uno, o menor o igual a cero. Esta función sólo se evalúa para ν mayor o igual a uno. Casos especiales incluyen la distribución normal ($\nu = 0$), Poisson ($\nu = 1$ con $\phi = 1$), gamma ($\nu = 2$) e inversa gaussiana ($\nu = 3$). Cuando el valor de ν se encuentra entre 1 y 2 ($1 < \nu < 2$), la distribución continua de Y es mayor que cero, con una masa positiva en $Y = 0$ como se indicó anteriormente. Para $\nu > 2$, la distribución es continua en Y mayor que cero. El valor *saddlepoint* aproximado de densidad para la distribución *Tweedie*, se obtiene generando números aleatorios sobre los tres parámetros, quedando influenciado por el poder de los parámetros de μ y ϕ .

Este tipo de distribución necesita 3 parámetros; ν indica el tipo de distribución, μ es la media y ϕ la desviación típica.

En resumen, sea Y una variable aleatoria tal que

$$Y = \sum_{k=1}^N Z_k$$

donde N sigue una distribución Poisson ($P_0(\lambda)$), las Z_k son independientes e idénticamente distribuidas como Gamma, entonces Y sigue una distribución *Tweedie* la cual asigna una probabilidad positiva al caso $Y = 0$ siendo una mezcla de una distribución discreta y una distribución continua. Para $1 < \nu < 2$, el modelo equivale a suponer que las llamadas perdidas tienen una distribución Poisson-gamma (*Tweedie*) que, a diferencia de las distribuciones lognormal o gamma, admite valores cero.

En este capítulo se emplean las aproximaciones a este problema (llamadas perdidas por franja), considerando distribuciones Poisson, Binomial negativa para el caso de sobredispersión y distribuciones compuestas Poisson/Gamma o *Tweedie*, dada la adecuación del modelo a los datos disponibles.

La capacidad predictiva de los modelos se evalúa con la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE) y el error absoluto porcentual medio (MAPE), asimismo para evaluar la bondad del ajuste se tomarán el criterio de información de Akaike (AIC) y la *Deviance* (Desviación).

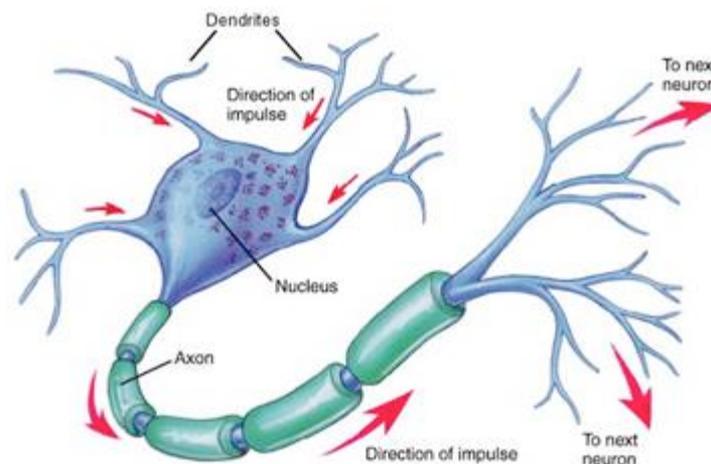
2.1.3.- Clasificación de llamadas: Red Neuronal¹⁹

Desde finales de los 50 se ha venido investigando en un conjunto de técnicas que utilizan un enfoque diferente para resolver los problemas. Este conjunto de técnicas y herramientas se bautizó con el nombre de Inteligencia Artificial (IA), entendiendo por esto hacer frente a ciertos problemas de una manera similar a como lo hacen los seres humanos. Entre los problemas que se resuelven con estas técnicas destacan los de clasificación, pronóstico y reconocimiento de patrones.

Las redes neuronales se encuadran en un enfoque tradicional conexionista. La idea es desarrollar un sistema formado por pequeñas unidades de cálculo en cierta medida muy simples y hacer, mediante conexiones entre ellas, que todo el conjunto sea capaz de resolver cierta clase de problemas.

El enfoque conexionista consiste en imitar el sistema de computación más complejo de los que se conocen hasta ahora, que es el cerebro. El cerebro está formado por millones de células llamadas neuronas (gráfico 2.1).

Gráfico 2.1: Representación de una neurona



Fuente: Palacios FJ. Redes Neuronales con GNU/Linux. 2003. Disponible en: http://www.ibiblio.org/pub/linux/docs/LuCaS/Presentaciones/200304curso-gლისa/redes_neuronales/curso-gლისa-redes_neuronales-html/index.html. Consultado 18/05/2013.

Estas neuronas son unos procesadores de información muy sencillos con un canal de entrada de información (dendritas), un órgano de cómputo (soma) y un canal de salida de información (axón). De esta forma, las redes neuronales artificiales (RNA) imitan en cierto modo la estructura, física y el modo de operación de un cerebro. Teniendo en cuenta que el cerebro presenta las cualidades de procesamiento paralelo, procesamiento distribuido y adaptabilidad.

El sistema resulta ser paralelo porque está formado por unidades elementales de procesamiento llamadas neuronas en el que cada neurona realiza un tipo de procesamiento muy simple. El sistema es distribuido, quiere decir que la información no se almacena localmente en ciertas zonas concretas de la RNA sino que se halla presente por toda ella, en concreto, se almacena en la sinapsis entre las neuronas. Al calcular la respuesta de la red neuronal, intervienen todos y cada uno de los procesadores

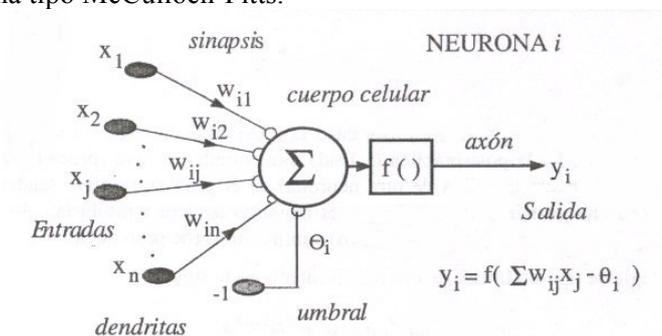
¹⁹ La descripción de esta metodología se basa parcialmente en documentación de Palacios (2003).

elementales, los cuales se hallan distribuidos por toda la arquitectura de la red. Además este carácter distribuido hace que la red presente tolerancia a fallos (si se pierde una parte de las neuronas no se pierde toda la información).

Una red neuronal presenta además un grado de adaptabilidad que se concreta en las capacidades de aprendizaje y generalización. Por aprendizaje se entiende la capacidad para recoger información de las experiencias y utilizarlas para actuar ante situaciones futuras. Relacionada con el aprendizaje está la generalización, que se define como la capacidad para abstraer la información útil, más allá de los casos particulares. De esta manera, la RNA es capaz de responder ante casos desconocidos.

La unidad básica de una RNA es la neurona, siendo la más común la de tipo McCulloch-Pitts (gráfico 2.2).

Gráfico 2.2: Neurona tipo McCulloch-Pitts.



Fuente: Palacios FJ. Redes Neuronales con GNU/Linux. 2003. Disponible en: http://www.ibiblio.org/pub/linux/docs/LuCaS/Presentaciones/200304curso-glisha/redes_neuronales/curso-glisha-redes_neuronales.html/index.html. Consultado 18/05/2013.

Una neurona artificial es un procesador elemental, en el sentido de que procesa un vector $x (x_1, x_2, \dots, x_n)$ de entradas y produce un respuesta o salida única. Los elementos clave de una neurona artificial se pueden ver en el gráfico 2.2 y son los siguientes:

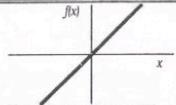
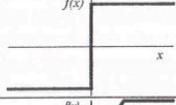
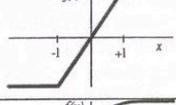
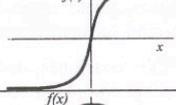
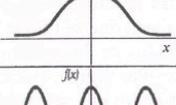
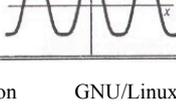
- Las entradas que reciben los datos de otras neuronas. En una neurona biológica corresponderían a las dendritas.
- Los pesos sinápticos w_{ij} . Al igual que en una neurona biológica se establecen sinapsis entre las dendritas de una neurona y el axón de otra; en una neurona artificial a las entradas que vienen de otras neuronas se les asigna un peso, un factor de importancia. Este peso, que es un número, se modifica durante el entrenamiento de la red neuronal, y es aquí por tanto donde se almacena la información que hará que la red sirva para un propósito u otro.
- Una regla de propagación. Con esas entradas y los pesos sinápticos, se suele hacer algún tipo de operación para obtener el valor del potencial postsináptico (valor que es función de las entradas y los pesos y que es el que se utiliza en último término para realizar el procesamiento). Una de las operaciones mas comunes es sumar las entradas, pero teniendo en cuenta la importancia de cada una (el peso sináptico asociado a cada entrada). Es lo que se llama suma ponderada, aunque otras operaciones también son posibles, y cuya ecuación es:

$$h_i(t) = \sum_j w_{ij}x_j$$

La otra regla de propagación mas habitual es la distancia euclídea. Este es el tipo de regla que tienen otras como las redes de base radial (RBF).

- Una función de activación. El valor obtenido con la regla de propagación, se filtra a través de una función conocida como función de activación y es la que da la salida de la neurona. Según para lo que se desee entrenar la red neuronal, se suele escoger una función de activación u otra en ciertas neuronas de la red. En tabla 2.2 se muestran las funciones de activación más usuales.

Tabla 2.2: Funciones de activación usuales para una Red Neuronal.

	Función	Rango	Gráfica
Identidad	$y = x$	$[-\infty, +\infty]$	
Escalón	$y = \text{sign}(x)$ $y = H(x)$	$\{-1, +1\}$ $\{0, +1\}$	
Lineal a tramos	$y = \begin{cases} -1, & \text{si } x < -l \\ x, & \text{si } -l \leq x \leq +l \\ +1, & \text{si } x > +l \end{cases}$	$[-1, +1]$	
Sigmoidea	$y = \frac{1}{1 + e^{-x}}$ $y = \text{tgh}(x)$	$[0, +1]$ $[-1, +1]$	
Gaussiana	$y = Ae^{-Bx^2}$	$[0, +1]$	
Sinusoidal	$y = A \text{sen}(\omega x + \varphi)$	$[-1, +1]$	

Fuente: Palacios FJ. Redes Neuronales con GNU/Linux. 2003. Disponible en: http://www.ibiblio.org/pub/linux/docs/LuCaS/Presentaciones/200304curso-glisa/redes_neuronales/curso-glisa-redes_neuronales.html/index.html. Consultado 18/05/2013.

En muchas ocasiones la razón para la aplicación de una función de activación distinta de la identidad surge de la necesidad de que las neuronas produzcan una salida acotada. Esto desde un punto de vista de similitud con el sistema biológico, no es tan descabellado, ya que las respuestas de las neuronas biológicas están acotadas en amplitud. Además cada neurona tiene asociado un número denominado *bías* o umbral, que puede verse como un número que indica para que valor del potencial postsináptico la neurona produce una salida significativa.

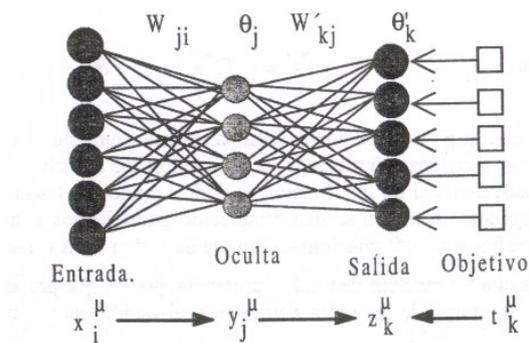
Desde un punto de vista matemático, se puede ver una red neuronal como un grafo dirigido y ponderado donde cada uno de los nodos son neuronas artificiales y los arcos que unen los nodos son las conexiones sinápticas. Al ser dirigidos, los arcos son unidireccionales. En el lenguaje de neuronas y conexiones significa que la información se propaga en un único sentido, desde una neurona presináptica (neurona origen) a una neurona postsináptica (neurona destino). Por otra parte, es ponderado, lo que significa que las conexiones tienen asociado un número real, un peso, que indica la importancia de esa conexión con respecto al resto de las conexiones. Si dicho peso es positivo la conexión se dice que es excitadora, mientras que si es negativa se dice que es inhibidora.

Lo usual es que las neuronas se agrupen en capas, de manera que una RNA está formada por varias capas de neuronas. Aunque todas las capas son conjuntos de neuronas, según la función que desempeñan, suelen recibir un nombre específico. Las más comunes son las siguientes:

- Capa de entrada: las neuronas de la capa de entrada, reciben los datos que se proporcionan a la RNA para que los procese.
- Capas ocultas: este tipo de capas realiza gran parte del procesamiento, introducen grados de libertad adicionales en la RNA y el número de ellas puede depender del tipo de red que se esté considerando.
- Capa de salida: Esta capa proporciona la respuesta de la red neuronal y realiza parte del procesamiento.

El perceptrón multicapa (MLP) es uno de los tipos de redes más comunes que se basa en otra red mas simple llamada perceptrón simple, solo que el número de capas ocultas puede ser mayor o igual que una. Es una red unidireccional (*feedforward*) que se caracteriza por ser un aproximador universal de funciones cuya arquitectura típica se observa en el gráfico 2.3 (Pérez, 2003).

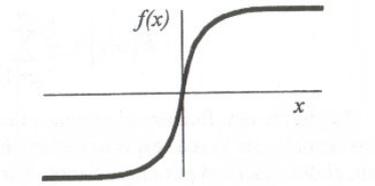
Gráfico 2.3: Arquitectura de un Perceptrón Multicapa.



Fuente: Palacios FJ. Redes Neuronales con GNU/Linux. 2003. Disponible en: http://www.ibiblio.org/pub/linux/docs/LuCaS/Presentaciones/200304curso-glisha/redes_neuronales/curso-glisha-redes_neuronales-html/index.html. Consultado 18/05/2013.

Las neuronas de la capa oculta usan como regla de propagación la suma ponderada de las entradas con los pesos sinápticos w_{ij} y sobre esa suma ponderada se aplica una función de transferencia de tipo sigmoideo que es acotada en respuesta (gráfico 2.4).

Gráfico 2.4: Función de transferencia tipo sigmoideo en una red neuronal.



Fuente: Palacios FJ. Redes Neuronales con GNU/Linux. 2003. Disponible en: http://www.ibiblio.org/pub/linux/docs/LuCaS/Presentaciones/200304curso-glisha/redes_neuronales/curso-glisha-redes_neuronales-html/index.html. Consultado 18/05/2013.

El aprendizaje que se suele usar en este tipo de redes recibe el nombre de retropropagación del error (*backpropagation*). Como función de coste global, se usa el error cuadrático medio. Es decir, que dado un par (x_k, d_k) correspondiente a la entrada k de los datos de entrenamiento y salida deseada asociada se calcula una cantidad de error de la forma en que se presenta a continuación:

$$E(w_{ij}, \theta_j, w'_{kj}, \theta'_k) = \frac{1}{2} \sum_p \sum_k \left[d_k^p - f \left(\sum_j w'_{kj} y_j^p - \theta'_k \right) \right]^2$$

que es la suma de los errores parciales debido a cada patrón (índice p), resultantes de la diferencia entre la salida deseada d_p y la salida que da la red $f(\cdot)$ ante el vector de entrada x_k . Si estas salidas son muy diferentes de las salidas deseadas, el error cuadrático medio será grande, siendo f la función de activación de las neuronas de la capa de salida y la salida que proporcionan las neuronas de la última capa oculta.

Sobre esta función de coste global se aplica algún procedimiento de minimización. En el caso del MLP se hace mediante un descenso por gradiente. Las expresiones que resultan aplicando la regla de la cadena son las siguientes:

$$\begin{aligned} \delta w'_{kj} &= -\epsilon \frac{\partial E}{\partial w'_{kj}} \\ \delta w'_{ji} &= -\epsilon \frac{\partial E}{\partial w'_{ji}} \\ \delta w'_{kj} &= \epsilon \sum_p \Delta_k^p y_j^p \quad \text{con} \quad \Delta_k^p = [d_k^p - f(v_k^p)] \frac{\partial f(v_k^p)}{\partial v_k^p} \\ \delta w_{ij} &= \epsilon \sum_p \Delta_j^p x_i^p \quad \text{con} \quad \Delta_j^p = \left(\sum_k \Delta_k^p w'_{kj} \right) \frac{\partial f(v_j^p)}{\partial v_j^p} \end{aligned}$$

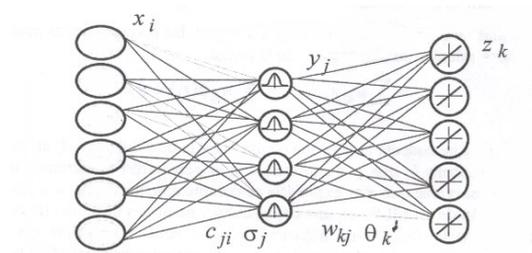
El aprendizaje por *backpropagation* queda como sigue:

1. Inicializar los pesos y los umbrales iniciales de cada neurona. Hay varias posibilidades de inicialización siendo las más comunes las que introducen valores aleatorios pequeños.
2. Para cada patrón del conjunto de los datos de entrenamiento:
 - a. Obtener la respuesta de la red ante ese patrón. Esta parte se consigue propagando la entrada hacia adelante, ya que este tipo de red es *feedforward*. Las salidas de una capa sirven como entrada a las neuronas de la capa siguiente, procesándolas de acuerdo a la regla de propagación y la función de activación correspondientes.

- b. Calcular los errores asociados según la ecuación de términos delta.
 - c. Calcular los incrementos parciales (sumandos de los sumatorios). Estos incrementos dependen del error cuadrático medio calculado.
3. Calcular el incremento total, para todos los patrones, de los pesos y los umbrales según las expresiones en la ecuación de términos delta.
 4. Actualizar pesos y umbrales.
 5. Calcular el error actual y volver al paso 2 si no es satisfactorio.

Las redes de base radial (RBF) se caracterizan por tener un aprendizaje o entrenamiento híbrido. La arquitectura de estas tiene tres capas: una de entrada, una única capa oculta y una capa de salida (Gráfico 2.5).

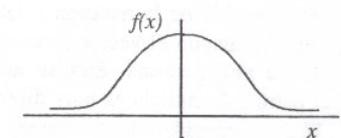
Gráfico 2.5: Arquitectura de una Red de Base Radial



Fuente: Palacios FJ. Redes Neuronales con GNU/Linux. 2003. Disponible en: http://www.ibiblio.org/pub/linux/docs/LuCaS/Presentaciones/200304curso-glisa/redes_neuronales/curso-glisa-redes_neuronales.html/index.html. Consultado 18/05/2013.

Aunque la arquitectura pueda recordar a la de un MLP, la diferencia fundamental está en que las neuronas de la capa oculta, en vez de calcular una suma ponderada de las entradas y aplicar una función de activación sigmoide, calculan la distancia euclídea entre el vector de pesos sinápticos (que recibe el nombre en este tipo de redes de centro o centroide) y la entrada, y sobre esa distancia se aplica una función de tipo radial con forma gaussiana (gráfico 2.6).

Gráfico 2.6: Función de transferencia tipo Gaussiana en una red neuronal.



Capa oculta: neurona gaussiana

Fuente: Palacios FJ. Redes Neuronales con GNU/Linux. 2003. Disponible en: http://www.ibiblio.org/pub/linux/docs/LuCaS/Presentaciones/200304curso-glisa/redes_neuronales/curso-glisa-redes_neuronales.html/index.html. Consultado 18/05/2013.

Para el aprendizaje de la capa oculta, hay varios métodos, siendo uno de los más conocidos el algoritmo denominado k-medias. Es un algoritmo no supervisado de *clustering*, siendo k el número de grupos que se desea encontrar, y se corresponde con el número de neuronas de la capa oculta, que es un parámetro que hay que decidir de antemano. El algoritmo se plantea como sigue:

1. Inicializar los pesos (los centros) en el instante inicial. Una inicialización típica es la denominada k-primera, mediante la cual los k centros se hacen iguales a las k primeras muestras del conjunto de datos de entrenamiento $\{x_p\}_{p=1, \dots, n}$

$$c_1 = x_1, c_2 = x_2, \dots, c_n = x_n,$$

2. En cada iteración, se calculan los dominios, es decir, se reparten las muestras entre los k centros. Esto se hace de la siguiente manera: Dada una muestra x_j se calculan las distancias a cada uno de los centros c_k . La muestra pertenecerá al dominio del centro cuya distancia calculada sea la menor.
3. Se calculan los nuevos centros como los promedios de los patrones de aprendizaje pertenecientes a sus dominios. Viene a ser como calcular el centro de masas de la distribución de patrones, tomando que todos pesan igual.
4. Si los valores de los centros varían respecto a la iteración anterior se vuelve al paso 2, si no, es que se alcanzó la convergencia y se finaliza el aprendizaje.

Una vez fijados los valores de los centros, sólo resta ajustar las anchuras de cada neurona. Las anchuras son los parámetros sigma que aparecen en cada una de las funciones gaussianas y reciben ese nombre por su interpretación geométrica, dan una medida de cuando una muestra activa a una neurona oculta para que de una salida significativa, normalmente se toma el criterio de que para cada neurona se toma como valor sigma la distancia al centro mas cercano.

Finalmente, se entrena la capa de salida. El entrenamiento de esta capa suele usar un algoritmo parecido al que se usa para la capa de salida del MLP. La actualización de los pesos viene dada por la expresión:

$$z_k = \sum_j w_{kj} \phi(r_j) + \theta_k$$
$$\delta w_{kj}(t) = \epsilon (d_k - z_k) \phi(r_j)$$

Con este fin se suelen presentar todos los patrones de la muestra de entrenamiento varias veces.

2.2.- RESULTADOS

Como se comentó en la introducción, en primer lugar, se aplicará el análisis de supervivencia para analizar las circunstancias en las que se pierde una llamada al centro provincial de Málaga de la EPES durante 2007 y se calculará el tiempo de impaciencia promedio, para aplicar en la modelización de colas del capítulo 4.

En segundo lugar se analizan estas llamadas perdidas por franjas horarias y meses, información necesaria para el dimensionamiento de la plantilla. Este análisis se realiza en dos fases. En primer lugar se aplica análisis en componentes principales y análisis cluster, que permiten seleccionar variables para un modelo de regresión múltiple para el número de llamadas perdidas de cada franja horaria de cada mes. Los resultados permitirán detectar las variables controlables sobre las que actuar para no superar los umbrales de llamadas perdidas para el nivel de servicio que ofrece la empresa.

Por último, se aplicarán diversas técnicas de clasificación, análisis discriminante, regresión logística binaria y dos modelos de red neuronal (perceptrón multicapa y red de base radial) para analizar cuál de ellas detecta si una llamada concreta será atendida o por el contrario se perderá.

2.2.1.- Análisis de Supervivencia para analizar la pérdida de llamadas en el Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias durante 2007.

El análisis de supervivencia analiza el fenómeno “tiempo hasta que una llamada al *call center* se pierde o abandona”. Se aplican las técnicas de supervivencia no paramétricas (Kaplan-Meier), semiparamétricas (regresión de Cox) y paramétricas (exponencial, logística, Weibull...). Los semiparamétricos y paramétricos permiten considerar factores y covariables explicativas adicionales. Adicionalmente el método de splines compacta la fórmula para estimar la supervivencia calculada por el método de Kaplan-Meier.

2.2.1.1.- Estimación no paramétrica de la probabilidad de pérdida de una llamada al Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias durante 2007 mediante el estimador de Kaplan-Meier.

Se presentan los resultados desglosados por tipo de línea (061, Urgencias, Transporte, 112 y Otras) y agrupados, dado que el interés se centra en el análisis conjunto para poder aplicar un tiempo de impaciencia a los modelos de colas del capítulo 4. Se han tomado los tiempos de llamada hasta 60 segundos (más del 95% del total de llamadas recibidas), considerando como errores los de tiempo superior, debido a que los proveedores de líneas telefónicas suelen interrumpir la comunicación en ese tiempo.

En la tabla 2.3 se observa el resumen de casos procesados para el cálculo de la supervivencia acumulada de las llamadas recibidas en el *call center* de Málaga de EPES.

Tabla 2.3: Resumen de casos procesados para el cálculo de supervivencia acumulada en el *call center* de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

Linea_Tipo	Nº total	Nº de eventos	Censurado	
			Nº	Porcentaje
061	231.452	40.339	191.113	82,6%
112	35.427	314	35.113	99,1%
Urgencias	118.143	15.791	102.352	86,6%
Transporte	76.837	10.210	66.627	86,7%
Otras	83.044	3.994	79.050	95,2%
Global	544.903	70.648	474.255	87,0%

Fuente: Elaboración propia

En global existe una censura del 87,0%, que varía desde el 82,6% de la línea 061 hasta el 99,1% de la línea 112.

En la Tabla 2.4 se presentan las medias y medianas de los tiempos de supervivencia por tipo de línea

Tabla 2.4: Medias y medianas de los tiempos de supervivencia de las llamadas perdidas en el *call center* de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

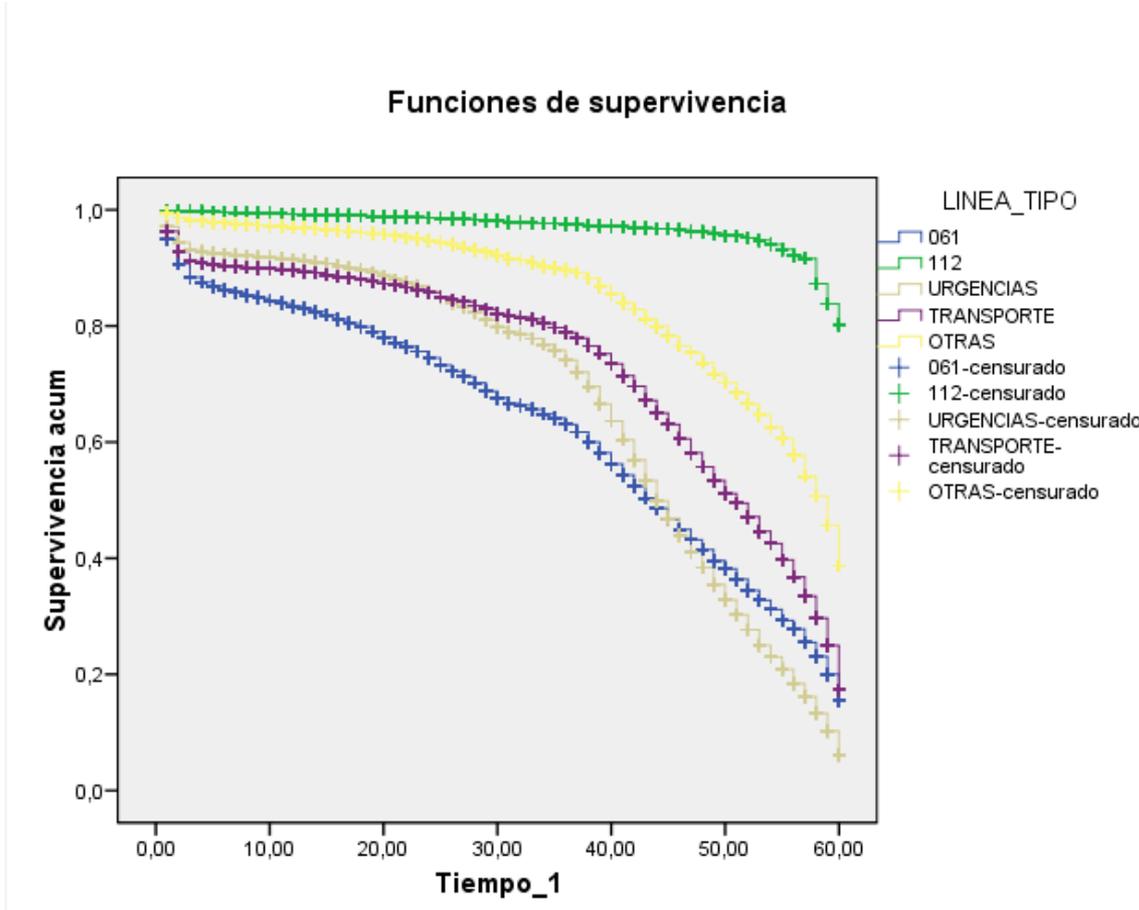
LINEA_TIPO	Media ^a				Mediana			
	Estimación	Error típico	Intervalo de confianza al 95%		Estimación	Error típico	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior			Límite inferior	Límite superior
061	38.615	.099	38.422	38.808	44.000	.200	43.607	44.393
112	58.392	.113	58.170	58.614	.	.	.	.
URGENCIAS	41.552	.105	41.346	41.759	44.000	.150	43.706	44.294
TRANSPORTE	44.960	.136	44.693	45.226	51.000	.328	50.357	51.643
OTRAS	51.827	.127	51.578	52.075	59.000	.293	58.425	59.575
Global	43.368	.057	43.256	43.481	49.000	.133	48.738	49.262

a. La estimación se limita al mayor tiempo de supervivencia si se ha censurado.

Se observa como oscila desde los 38,61 segundos de media y 44 segundos de mediana de la línea 061 hasta los 58,39 segundos de media de la línea 112 y los 59 segundos de mediana de la línea Otras. Las líneas de Urgencias y Transporte presentan más paciencia que la línea 061 (44,55 y 44,96 segundos respectivamente) y más impaciencia que las 112 y Otras. La media global de supervivencia acumulada (paciencia) es de 43,37 segundos y la mediana de 49 segundos.

En el gráfico 2.7 se muestran las funciones de supervivencia acumulada de las cinco tipos de línea.

Gráfico 2.7: Funciones de supervivencia acumulada (Kaplan-Meier) por tipos de línea en el *call center* de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.



Fuente: Elaboración propia

Se observa que a los 10 segundos la supervivencia de la línea 061 es aproximadamente del 80% y hasta los 45 segundos es la línea de menor paciencia de espera de los usuarios hasta atender la llamada, momento en que es superada por la línea de Urgencias, que por su parte presenta una mayor paciencia hasta los 20 segundos, instante en que supera la impaciencia de la línea de Transporte. Esta última, presenta una paciencia elevada hasta los 40 segundos, momento en que decae rápidamente. Las líneas de Otras y 112 presentan una alta paciencia, en especial esta última, que prácticamente no decae hasta los 57 segundos. La línea Otros es muy paciente hasta los 40 segundos, para posteriormente descender con pendiente proporcional a las líneas 061, Urgencias y Transporte.

Dado que se observan aparentemente comportamientos de impaciencia distintos según el tipo de línea, se ha realizado una prueba de igualdad de distribuciones de supervivencia que se muestran en el la tabla 2.5.

Tabla 2.5: Pruebas de igualdad de supervivencia acumulada por tipo de líneas en el *call center* de emergencias sanitarias de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Log Rank (Mantel-Cox)	16985,506	4	,000
Breslow (Generalized Wilcoxon)	13947,886	4	,000
Tarone-Ware	15804,368	4	,000

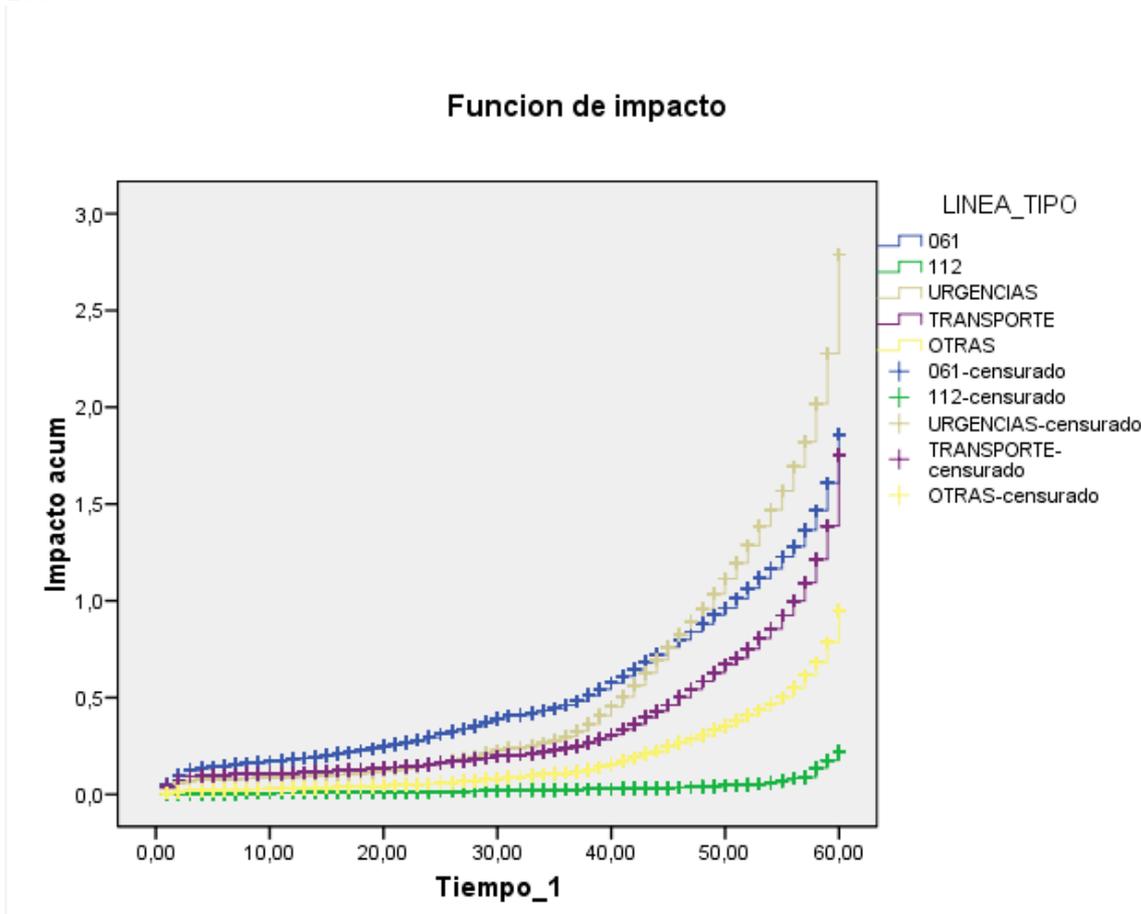
gl: grados de libertad. Sig.: significación.

Fuente: Elaboración propia

Puede concluirse el rechazo de la hipótesis nula de igualdad de supervivencia tanto en la prueba Log-Rank, como las de Breslow y Tarone-Ware ($p < 0,01$), es decir, las variaciones de impaciencia observadas en las curvas de supervivencia no son fruto del azar, sino de comportamientos distintos.

Otra óptica de análisis de la supervivencia es a través de la distribución de riesgo acumulado (función de impacto) que se observa en el gráfico 2.8.

Gráfico 2.8: Funciones de Impacto acumulada (Kaplan-Meier) por tipos de línea en el *call center* de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.



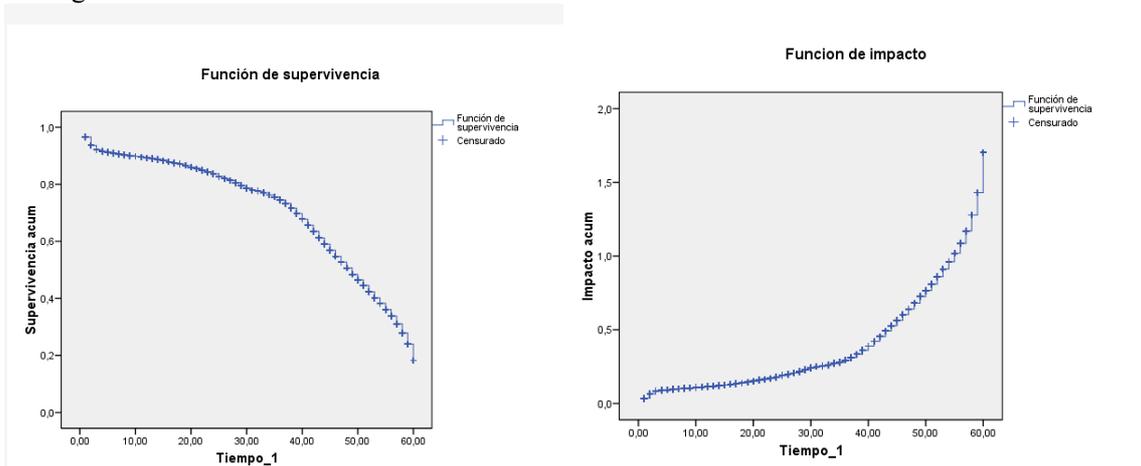
Fuente: Elaboración propia

La interpretación es similar a la del gráfico de supervivencia acumulada, pero medido en términos de riesgo, por lo que las curvas parten de 0 pérdidas de llamadas en el instante 0 de tiempo y van aumentando el riesgo a medida que transcurre el tiempo. La

línea de Urgencias es la de mayor riesgo a partir de los 45 segundos de espera, hasta ese momento es la 061 la que presenta un mayor riesgo.

En el gráfico 2.9 se muestran las curvas de supervivencia e impacto acumulados del global de líneas.

Gráfico 2.9: Funciones de Supervivencia e Impacto acumulada (Kaplan-Meier) para el global de líneas en el *call center* de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.



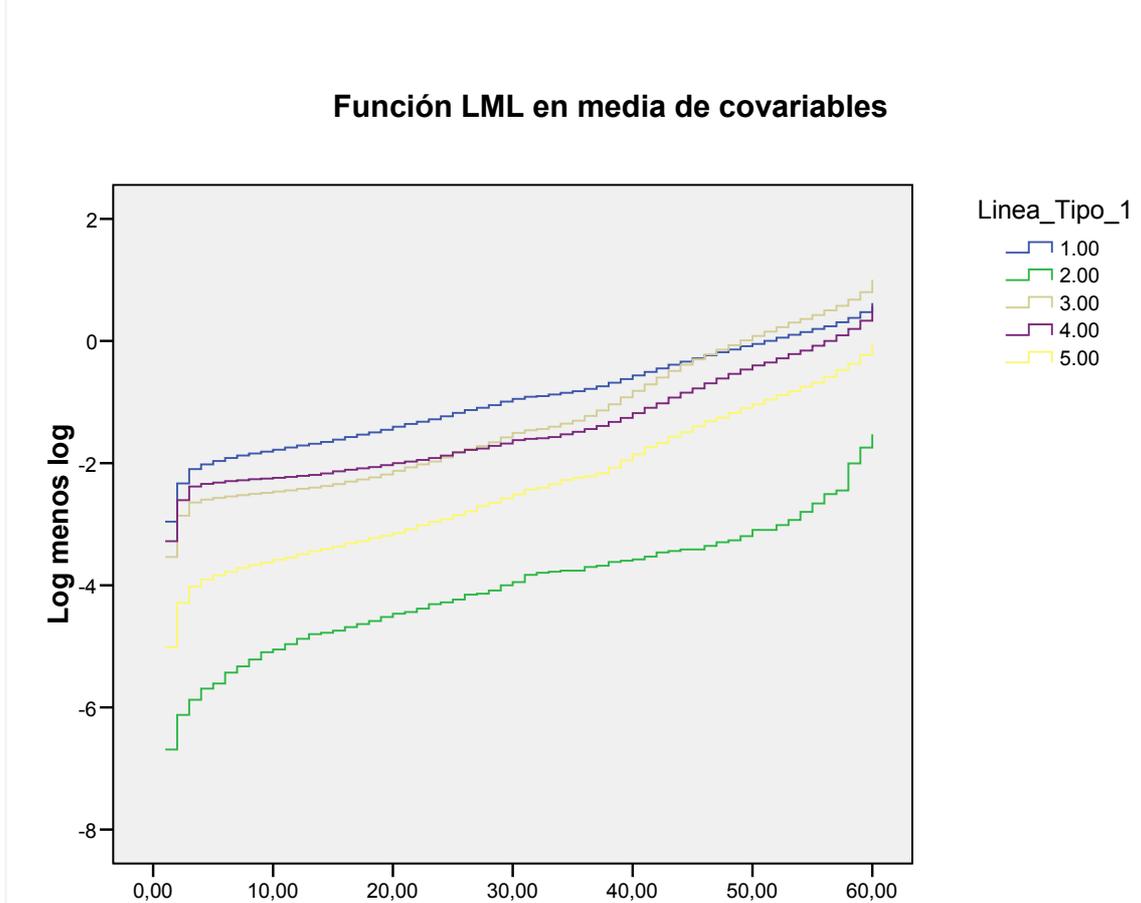
Fuente: Elaboración propia

Las formas de las curvas quedan claramente influenciadas por la línea 061 y la elevación del riesgo de la línea Urgencias a partir de los 45 segundos. En general, a partir de los 30 segundos la impaciencia se incrementa, hasta los 30 segundos la supervivencia es del 78% y del 11% a los 60 segundos.

2.2.1.2.- Estimación Semiparamétrica de la probabilidad de pérdida de una llamada al Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias durante 2007 mediante la Regresión de Cox

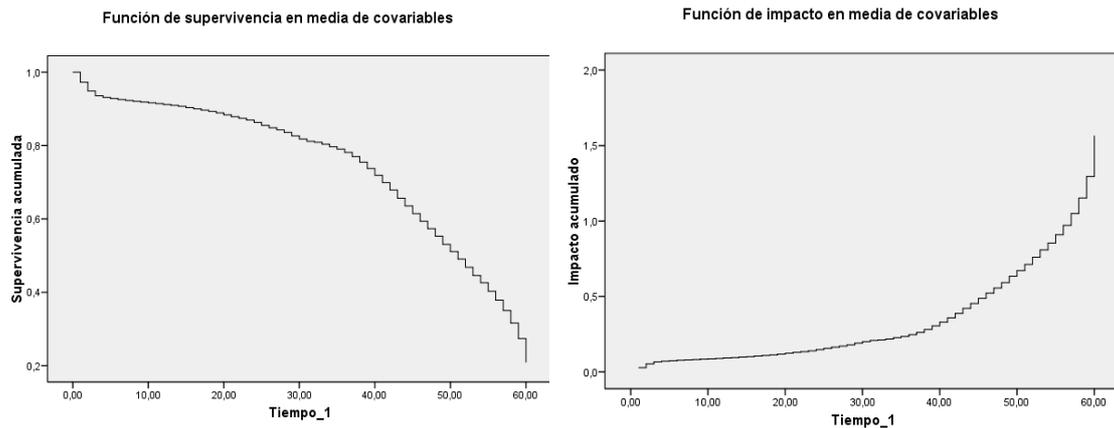
El modelo de regresión de Cox aplicado es con covariable dependiente del tiempo, ya que no se cumple el supuesto de proporcionalidad, dado que la línea de Urgencias se cruza tanto con la de Transporte como con la de 061, como puede observarse en el Gráfico 2.7 anterior y en el gráfico 2.10 (log menos log) donde debieran aparecer líneas paralelas sin cruzarse.

Gráfico 2.10: Funciones de log menos log (Kaplan-Meier) por tipos de líneas en el *call center* de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.



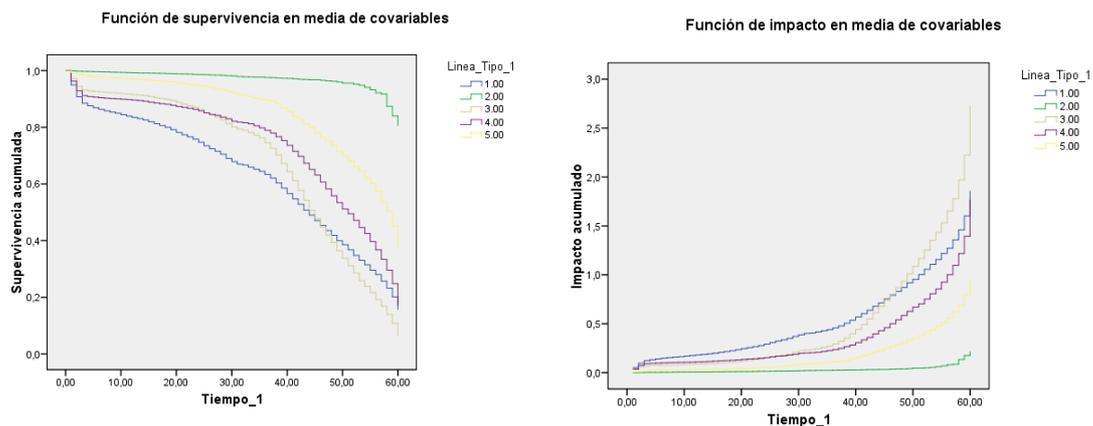
Las curvas de supervivencia e impacto acumulado en media de covariables mantienen una forma similar a las obtenidas con el estimador de Kaplan-Meier, como puede observarse en los gráficos 2.11 y 2.12, donde la línea 1 se corresponde con 061, la 2 con 112, la 3 con Urgencias, la 4 con Transporte, y la 5 con Otras.

Gráfico 2.11: Funciones de Supervivencia e Impacto en media de covariables (Regresión de Cox) para el global de líneas en el *call center* de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2.12: Funciones de Supervivencia e Impacto en media de covariables (Regresión de Cox) por tipos de líneas en el *call center* de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.



Fuente: Elaboración propia. Línea 061=1, línea 112=2, línea Urgencias=3, línea Transporte=4, Otras líneas=5

La ventaja es que este modelo informa del riesgo de perder llamadas en función de covariables, así en la tabla 2.6 se exponen las estimaciones de los coeficientes de la regresión de Cox.

Tabla 2.6: Estimaciones de los coeficientes de la Regresión de Cox de la función de supervivencia acumulada en el *call center* de emergencias sanitarias de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

	B	ET	Wald	gl	Sig.	Exp(B)
Operadores	-,275	,004	4067,113	1	,000	,759
Med Coor	-,836	,011	5978,761	1	,000	,433
t cov	1,976	,115	293,067	1	,000	7,214
linea_tipo			1399,257	4	,000	
061	,101	,004	564,815	1	,000	1,106
urgencias	,028	,006	19,506	1	,000	1,029
transporte	,005	,005	1,252	1	,043	1,005
112	-,043	,005	65,870	1	,000	,958
Med Coor*operadores	,091	,001	5184,639	1	,000	1,096

gl: grados de libertad. ET: Error típico del coeficiente Sig.: Significación.
Fuente: Elaboración propia

Puede observarse como el número de operadores reduce el riesgo de llamadas perdidas en un 24,1%, y el número de médicos coordinadores en un 56%. Asimismo la línea 061 tiene un riesgo un 10,6% mayor de llamadas perdidas que la de referencia (Otras), la línea 112 tiene un 4,2% de menor riesgo, las de Urgencias un 2,9% de mayor riesgo y Transporte queda como casi la de referencia. En especial, el tiempo que transcurre multiplica por 6 el riesgo base y la interacción entre operadores y médicos coordinadores indican que el riesgo no es el mismo según el dimensionamiento, que tiende a incrementar el riesgo a medida que el número de efectivos aumenta.

Se realizaron modelos incluyendo las variables franja horaria, mes, hora y día de la semana pero los resultados indicaron una falta de significatividad, en especial en horas y días de la semana. Hecho también observado para las variables de tiempos, operadores y médicos coordinadores.

2.2.1.3.- Estimación paramétrica de la probabilidad de pérdida de una llamada al Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias durante 2007.

Se han realizado los ajustes a los modelos más habituales en estimación de la supervivencia. En la tabla 2.7 se exponen los resultados de bondad del ajuste del estadístico Anderson-Darling.

Tabla 2.7: Bondad del ajuste de la función de supervivencia acumulada (modelos paramétricos) en el *call center* de emergencias sanitarias de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

Anderson-Darling	061	112	Otras	Urgencias	Transporte
Valor Extremo más Pequeño (Gumbel)	14.168,93	5.074,91	5.286,15	1.037,67	3.181,52
Weibull	11.749,77	5.080,02	5.915,04	3.392,42	4.327,94
Weibull 3 parámetros	31.441,09	5.085,63	7.849,25	14.138,25	9.654,80
Exponencial	10.747,38	5.081,99	6.327,69	3.544,07	3.768,79
Exponencial 2 parámetros	11.645,49	5.081,31	6.219,34	3.289,35	3.753,98
Normal	13.216,80	5.074,91	5.328,14	1.287,91	3.180,96
Lognormal	13.585,42	5.082,05	6.408,99	5.161,40	4.947,17
Lognormal 3 parámetros	33.543,07	5.090,56	5.402,53	15.745,66	10.225,00
Logística	13.556,06	5.074,72	5.283,08	1.193,09	3.170,44
Loglogística	12.853,17	5.080,17	6.058,55	4.362,71	4.670,06
Loglogística 3 parámetros	32.612,00	5.085,76	7.996,52	14.785,03	9.916,39

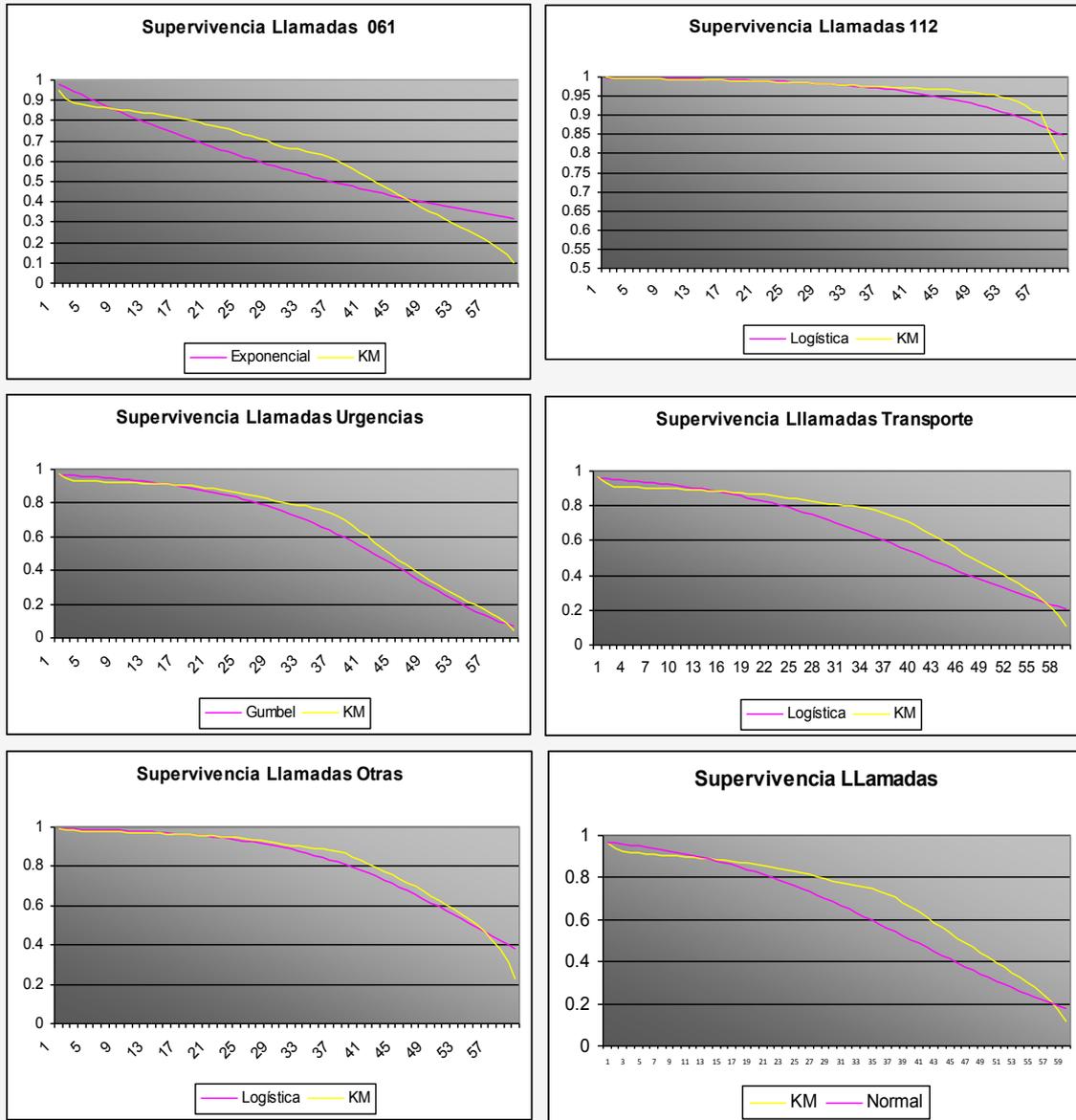
Sombreados los mejores ajustes para cada tipo de línea

Fuente: Elaboración propia

Se observan resultados dispares por tipos de línea, siendo la distribución Exponencial la de mejor ajuste para el 061, la Gumbel para Urgencias, y la Logística para las líneas 112, Otras y Transporte.

En el gráfico 2.13 se recogen por tipo de línea y global la comparación entre la supervivencia empírica calculada y los modelos ajustados.

Gráfico 2.13: Funciones de Supervivencia e Impacto (Modelos Paramétricos) por tipos de líneas en el *call center* de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

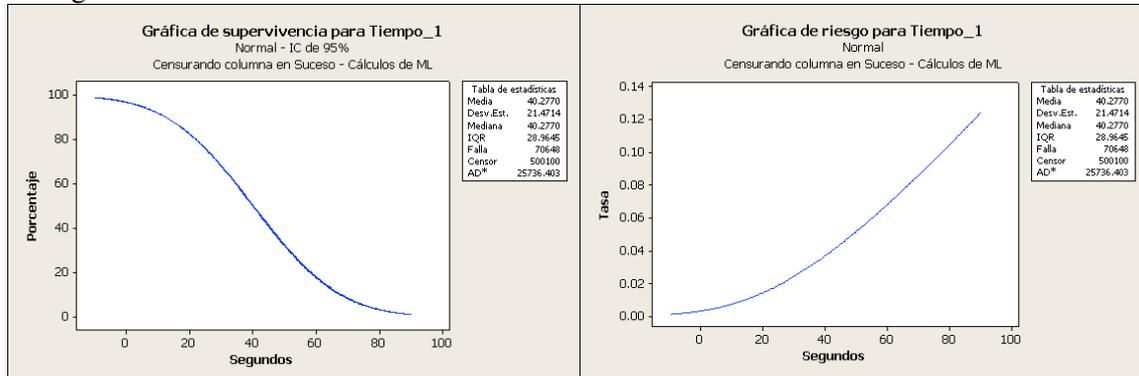


Fuente: Elaboración propia. En Fucsia los valores ajustados de los modelos paramétricos y en amarillo los valores del estimador Kaplan-Meier.

Para las líneas 061 y Transporte se observa una infraestimación de la supervivencia, en especial en el tramo de 10 a 50 segundos. El resto de líneas también estiman a la baja la supervivencia pero con menor desviación. Cuando se considera la supervivencia sin diferenciar tipos de líneas, los mejores ajustes fueron para las distribuciones Normal y Logística, siendo el coeficiente de correlación de 0,915.

En el gráfico 2.14 se muestran las curvas de supervivencia y riesgo para la distribución Normal, con tiempos medios de impaciencia de 40,27 segundos

Gráfico 2.14: Funciones de Supervivencia e Impacto (Modelos Paramétricos) para el global de líneas en el *call center* de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.



Fuente: Elaboración propia

Con el mejor ajuste de la distribución Normal se ha realizado un modelo de Tiempo de Fallo Acelerado, incluyendo como variables explicativas el número de operadores, médicos coordinadores, tipo de línea, e interacción de operadores y médicos coordinadores (tabla 2.8).

Tabla 2.8: Estimación de los coeficientes de la función de supervivencia acumulada (Modelo de Tiempo de Fallo Acelerado) en el *call center* de emergencias sanitarias de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

Predictor	Error		IC normal de 95.0%			
	Coef	estándar	Z	P	Inferior	Superior
Intersección	25,0336	1,09929	22,77	0,000	22,8790	27,1882
Operador	0,610688	0,138942	4,40	0,000	0,33837	0,883009
Med_Coor	4,03925	0,364404	11,08	0,000	3,32503	4,75347
LINEA_TIPO						
112	35,7006	0,48653	73,38	0,000	34,7470	36,6542
OTRAS	19,2465	0,18493	104,07	0,000	18,8841	19,6090
SEU	7,26785	0,11888	61,14	0,000	7,03485	7,50085
TPT	5,65557	0,13755	41,12	0,000	5,38597	5,92516
Operador*Med_Coord	-0,336733	0,041696	-8,08	0,000	-0,418456	-0,255010
Escala	20,2206	0,0507269			20,1214	20,3203

Fuente: Elaboración propia

La interpretación de los parámetros estimados es distinta a la de los modelos de regresión tradicional y al de Cox. Así, los signos positivos incrementan la paciencia y los negativos la disminuyen. El tiempo medio de espera hasta abandonar es de 25 segundos, por cada operador se incrementan en 0,61 y por cada médico aumenta en 4,04. La línea 112 incrementa su paciencia en 35,73 segundos más que la de 061. Al igual que con la regresión de Cox, la inclusión de las variables mes, hora y día de la

semana resultaron en muchos casos no significativa y afectaron de igual manera a los coeficientes de las variables operador, médico coordinador y su interacción.

2.2.1.4 Splines: Regresión Cúbica

Al objeto de obtener una fórmula más compacta para el estimador de Kaplan-Meier, se ha estimado un modelo de ajuste compatible con la curva de supervivencia observada (tabla 2.9).

Tabla 2.9: Estimación de los coeficientes de la función de supervivencia acumulada (Modelo de Splines) en el *call center* de emergencias sanitarias de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros			
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Cúbico	,997	6675,755	3	56	,000	,936	-,003	3,61E-005	-3,57E-006

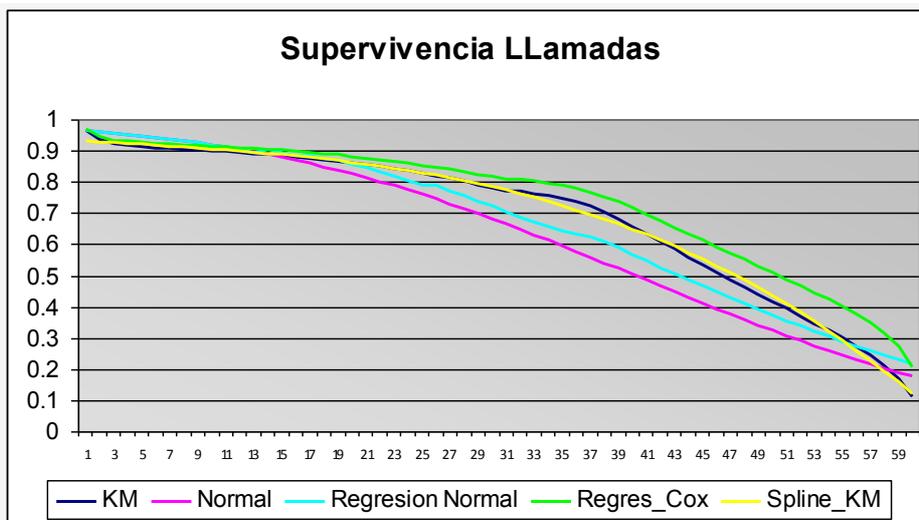
gl: grados de libertad. Sig. Significación
Fuente: Elaboración propia

Los resultados que se muestran en la tabla 29 reflejan un ajuste adecuado con un R^2 de 0,997 y un nivel de significación alto.

2.2.1.5.- Visión conjunta del análisis de las llamadas perdidas en el Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias durante 2007

En el gráfico 2.15 se expone la visión conjunta del ajuste de la supervivencia de las llamadas perdidas.

Gráfico 2.15: Funciones de Supervivencia de los modelos considerados para el global de líneas en el *call center* de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.



KM: Kaplan-Meier
Fuente: Elaboración propia

La línea azul es el ajuste empírico de Kaplan-Meier, que presenta valores muy similares a la regresión cúbica (amarillo). La regresión de Cox (en verde) sobreestima la supervivencia a partir de 18 segundos. Los modelos paramétricos, tanto el ajuste a la distribución normal como la regresión de tiempo de fallo acelerado infraestiman los valores de supervivencia a partir los 10 segundos para el primero y los 18 para el segundo, aunque en este último modelo el error de estimación es notablemente inferior.

2.2.2.- Pronóstico de llamadas perdidas por franja horaria y mes para el Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias durante 2007.

En segundo lugar se realiza el pronóstico de las llamadas perdidas por franjas horarias y mes. Para ello se lleva a cabo un análisis de componentes principales y un análisis clúster. Con los resultados obtenidos se realiza un análisis de regresión múltiple, probando los distintos modelos que mejor se ajusten a la distribución de los datos.

2.2.2.1.- Análisis de Componentes Principales

Este análisis se realiza sobre la base de datos de todas las llamadas recibidas y supone un paso previo para entender las relaciones entre variables y su contribución a la explicación de la varianza de las llamadas perdidas. Se analizan variables relacionadas con la demanda (número de llamadas recibidas por hora) y con la oferta de recursos (operadores y médicos coordinadores). Se considera el tipo de línea y el tiempo en espera hasta que se pierde la llamada. Se tiene en cuenta igualmente el momento temporal en que se realiza la llamada (mes y día de la semana).

Previo al análisis de componentes principales se calculan los estadísticos de Kaiser-Meyer-Olkin para determinar la adecuación muestral y la prueba de esfericidad de Bartlett para analizar la correlación entre las variables (tabla 2.10).

Tabla 2.10: Resultados de los estadísticos Kaiser-Meyer-Olkin y esfericidad de Bartlett en el *call center* de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin			,691
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado		115585,683
	Gl		21
	Sig.		,000

gl: grados de libertad. Sig.: significación
Fuente: Elaboración propia

Se observa una buena adecuación de la muestra al análisis de componentes principales, dado que el estadístico Kaiser-Meyer-Olkin es muy superior a 0,5. Asimismo existe correlación entre las variables, como indica el test de esfericidad de Bartlett ($p < 0,05$).

En la tabla 2.11 se muestran los resultados de la varianza explicada del análisis de componentes principales.

Tabla 2.11: Varianza explicada por los componentes del análisis de componentes principales en el *call center* de emergencias sanitarias de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

Componente	Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción		
	Total	% de la varianza	% acumulado
1	2,368	33,823	33,823
2	1,213	17,329	51,152
3	1,001	14,305	65,457

Fuente: Elaboración propia

Para los resultados de la tabla 2.11, se han tomado las componentes con autovalores superior a la unidad, quedando 3, que explican el 65,5% de la varianza de las llamadas perdidas. La primera componente explica el 34% de la varianza, la segunda el 17% y la tercera el 14,5%.

La matriz de componentes inicial no permitía clarificar adecuadamente la agrupación de variables en componentes, por ello se ha realizado una rotación Varimax (tabla 2.12).

Tabla 2.12: Matriz de componentes rotados del análisis de componentes principales en el *call center* de emergencias sanitarias de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

	Componente		
	1	2	3
Tiempo	-.053	.757	.008
Mes	-.006	-.206	.370
Día Semana	.022	.129	.926
línea tipo	.041	.759	-.106
Hora	.864	.015	.007
Med_Coor	.926	-.011	.002
operadores	.870	-.021	.006

Fuente: Elaboración propia

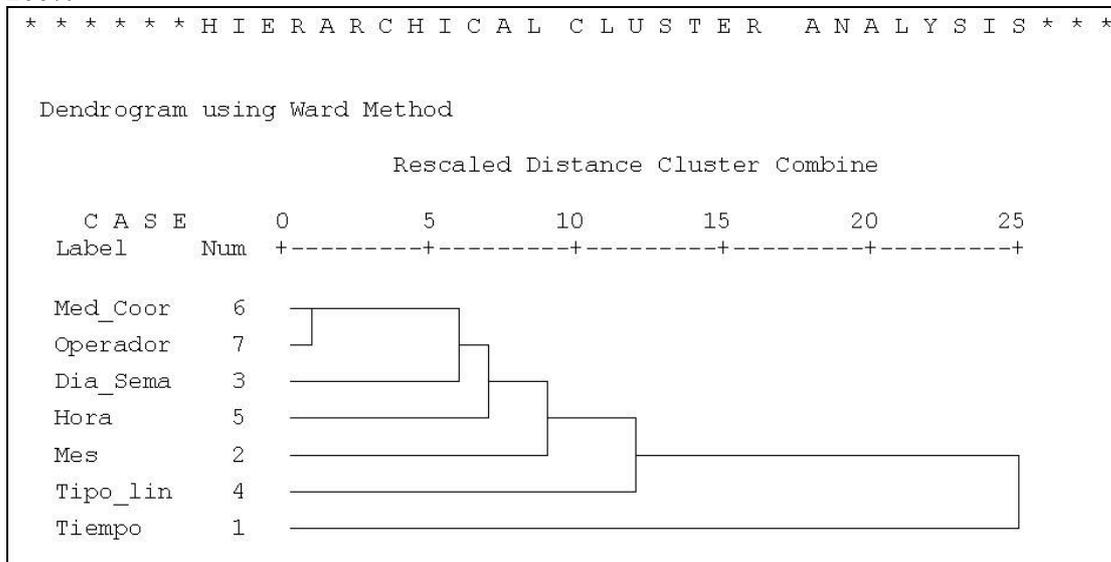
Se observa una primera componente que agrupa a las variables relacionadas con la demanda (Hora -número de llamadas recibidas por hora-) y oferta de recursos (operadores y Med_Coor –médicos coordinadores-). La segunda componente relaciona el tipo de línea y el tiempo en espera hasta que se pierde la llamada (Tiempo). La tercera componente indica la influencia del momento temporal en que se realiza la llamada (mes y día de la semana).

2.2.2.2.- Análisis Cluster Jerárquico

Este análisis se realiza sobre la base de datos de todas las llamadas recibidas y supone un paso para reconocer las relaciones entre las diversas variables, particularmente como se diferencian (disimilitud) y como se parecen (similitud). Se aplica el método de conglomeración de Ward, tomando como medida de disimilitud la distancia euclídea al cuadrado, y la correlación de Pearson como medida de similitud.

El gráfico 2.16 muestra el dendograma, tomando la medida de disimilitud.

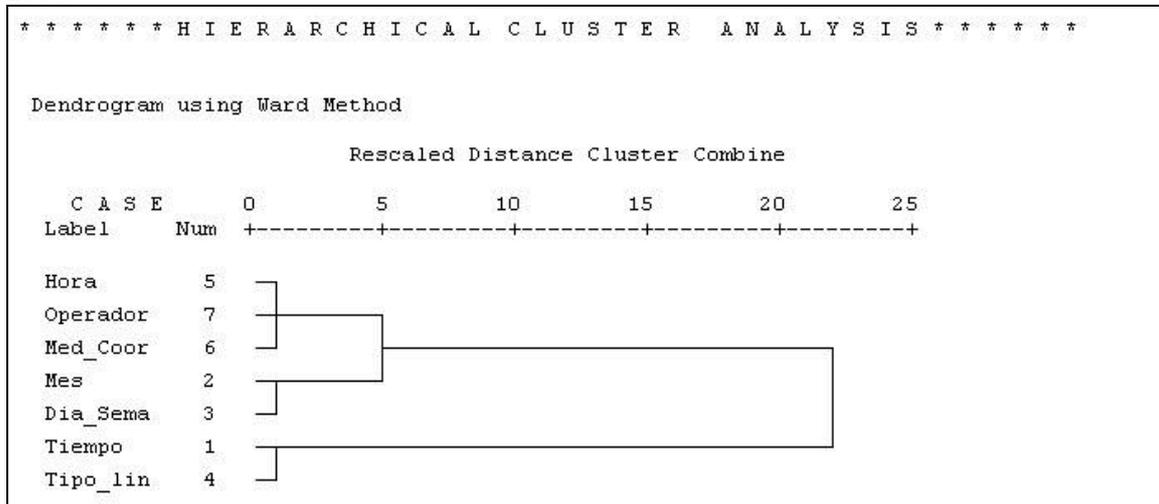
Gráfico 2.16: Dendrograma de medida de disimilitud del análisis cluster jerárquico en el *call center* de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.



Fuente: Elaboración propia

Se observa que sólo están agrupadas las variables operador y médico coordinador, el resto no presenta agrupación con otras variables. En el gráfico 2.17 se muestra el dendrograma tomando la medida de similitud.

Gráfico 2.17: Dendrograma de medida de similitud del análisis cluster jerárquico en el *call center* de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.



Fuente: Elaboración propia

Se observa una agrupación de las variables Hora, operador y médico coordinador. Un segundo cluster lo conforman el mes y día de la semana, y un tercer conglomerado está formado por las variables tipo de línea y tiempo en espera hasta perderse la llamada.

2.2.2.3.- Regresión lineal múltiple para el análisis de las llamadas perdidas por franja horaria y mes.

Se ha realizado un análisis de regresión lineal múltiple con introducción de variables *stepwise* considerando que tanto el número de llamadas recibidas, como el número de teleoperadores, el número de médicos coordinadores, y el tiempo transcurrido hasta que se pierde la llamada han de determinar el volumen de llamadas perdidas. Se dispone de 8.760 observaciones, correspondientes al número de llamadas perdidas en cada franja horaria, cada día del año (24*360). En la tabla 2.13 se presenta la estimación de los coeficientes del modelo.

Tabla 2.13: Estimación de los coeficientes de la regresión lineal múltiple *stepwise* en el *call center* de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta		
(Constante)	4,129	0,207		19,979	0,0000
Llamadas recibidas	0,277	0,002	1,144	114,03	0,0000
Número de Operadores	-1,166	0,047	-0,338	-24,948	0,0000
Número de Médicos Coordinadores	-1,335	0,101	-0,16	-13,192	0,0000
Tiempo en espera hasta perderse	0,004	0,005	0,006	0,914	0,3610

Sig.: significación

Fuente: Elaboración propia

Se destacan los siguientes resultados:

- La bondad del ajuste arroja un R^2 corregido de 0,67, es decir, el modelo explica el 67% del comportamiento del número de llamadas perdidas. El restante 33% de la variabilidad de las llamadas perdidas vendría explicado por errores y otras variables no identificadas.
- Todas las variables menos el tiempo que transcurre hasta que se pierde la llamada son significativas ($p=0,316$ para el tiempo de espera hasta perderse).
- En cuanto a la especificación del modelo, existe independencia residual de primer orden (el estadístico Durbin-Watson es cercano a 2). Se cumplen la simetría y normalidad. Pueden existir problemas de heteroscedasticidad, ya que se aprecia una concentración de puntos siguiendo rectas paralelas en el gráfico de residuos tipificados vs valores predichos. Pueden también existir problemas de multicolinealidad, (el índice de condición es 20,75). Estos problemas alterarían los errores típicos de los coeficientes.

A efectos de su extrapolación con fines de predicción, considerando las limitaciones comentadas, y las propias del mantenimiento de la estructura del fenómeno, viene a significar que inicialmente se perderían en cada franja horaria 4 llamadas más 0,28 multiplicado por el número de llamadas recibidas en esa franja, a lo que hay que restar 1,17 llamadas por teleoperador y 1,34 por médico que esté presente en dicho intervalo temporal objeto de previsión futura.

2.2.2.4.- Modelos Lineales Generalizados para la estimación de las llamadas perdidas por franja horaria y mes en el Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Málaga durante 2007

Se han realizado regresiones Lineal (expuesta anteriormente), Poisson, Binomial Negativa y *Tweedie* con función de enlace logaritmo para todas. Además se ha estimado una regresión Normal con función de enlace identidad. Las interacciones entre variables que resultaron significativas han sido operadores y médico coordinador, llamadas recibidas con estos recursos, y llamadas recibidas con los recursos humanos y tiempos de atención y pérdida de llamadas. En las tablas a continuación se exponen los resultados de bondad del ajuste y capacidad predictiva de los modelos aplicados, no considerando como variables explicativas las franjas horarias y meses (tabla 2.14) e incluyendo dichas variables (tabla 2.15).

Tabla 2.14: Capacidad predictiva y bondad del ajuste de las regresiones de los modelos lineales generalizados sin considerar franja y mes en el *call center* de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

sin considerar franja y mes	RMSE	MAPE	AIC	Desvianza
Regresión Lineal	4,36	65,98%	50.659	166.319
Poisson	4,16	53,03%	43.465	12.620
Binomial Negativa	7,49	49,15%	51.017	2.181
<i>Tweedie</i> 1.2	4,47	51,46%	42.921	8.945
Normal Identidad	3,92	63,07%	48.827	134.778
Normal Logarítmica	3,74	67,01%	48.005	122.710

RMSE: error cuadrático medio MAPE: error absoluto porcentual medio AIC: criterio de información de Akaike.
Sombreadas las cifras para el modelo que mejor ajusta según el criterio considerado.
Fuente: Elaboración propia.

Los dos primeros resultados, raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE) y error absoluto porcentual medio (MAPE) hacen referencia a la capacidad predictiva, así el mejor modelo según RMSE es la regresión con distribución normal y función de enlace logarítmica con 3,74 llamadas perdidas de error medio en cada franja horaria y también la de peor resultado según MAPE con un error medio en el pronóstico de llamadas perdidas en cada franja del 67,01%. Si se tienen en cuenta los resultados de MAPE, el mejor modelo es la regresión binomial negativa con un error medio en el pronóstico de llamadas perdidas en cada franja del 49,15%, siendo este modelo el de peor resultado según RMSE con 7,49 llamadas perdidas de error medio en cada franja horaria. Los modelos de Poisson y *Tweedie* presentan resultados intermedios.

Los siguientes resultados, criterio de información de Akaike (AIC) y discrepancia entre los valores reales y estimados (Desvianza) hacen referencia a la bondad del ajuste de los modelos a los datos reales. Tomando el criterio AIC el mejor resultado se obtiene de la regresión *Tweedie* con exponente 1.2 y el peor resultado se da en el de regresión binomial negativa. Si por el contrario, se toma como criterio la desvianza el mejor resultado corresponde a la binomial negativa y el peor a la regresión lineal y a la regresión con distribución normal y función de enlace identidad.

Tabla 2.15: Capacidad predictiva y bondad del ajuste de las regresiones de los modelos lineales generalizados considerando franja y mes en el *call center* de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

con franja y mes	RMSE	MAPE	AIC	Desviación
Poisson	3,79	49,17%	42.273	11.360
Binomial Negativa	6,18	46,78%	50.969	2.065
<i>Tweedie</i> 1.2	4,02	48,26%	42.199	8.158
Normal Identidad	3,79	60,24%	48.282	125.668
Normal Logarítmica	3,49	55,16%	46.867	106.924

RMSE: error cuadrático medio MAPE: error absoluto porcentual medio AIC: criterio de información de Akaike
Sombreadas las cifras para el modelo que mejor ajusta según el criterio considerado.
Fuente: Elaboración propia

Se observa que cuando se incluyen las franjas y meses como variables, los resultados de bondad del ajuste mejoran en todos los modelos, pero por el contrario las variables relacionadas con los recursos disponibles para la atención (operadores y médicos coordinadores) resultan no significativas.

A continuación se exponen en la tabla 2.16 los coeficientes estimados de las regresiones, sin la consideración de las variables franjas y mes. Se indica entre paréntesis el nivel de significación de los predictores estimados, y para los casos en los que se han utilizado funciones de enlace logarítmicas se presentan la exponencial de los coeficientes.

Tabla 2.16: Estimaciones de los coeficientes de las regresiones de los modelos lineales generalizados considerando franja y mes, en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

Estimación de los coeficientes sin considerar franja y mes	Regresión Lineal	Poisson (Exp(B))	Binomial Negativa (Exp(B))	<i>Tweedie</i> (Exp(B))	Normal Identidad	Normal Logarítmica (Exp(B))
Intersección	4,129 (0,000)	1,411 (0,001)	2,962 (0,001)	1,546 (0,001)	4,560 (0,000)	1,945 (0,000)
Llamadas recibidas	0,277 (0,000)	1,032 (0,000)	1,046 (0,000)	1,035 (0,000)	0,192 (0,000)	1,025 (0,000)
Número de operadores	-1,166 (0,000)	0,896 (0,000)	0,752 (0,000)	0,869 (0,000)	-1,095 (0,000)	0,928 (0,000)
Número de Médicos Coordinadores	-1,335 (0,000)	0,856 (0,000)	0,539 (0,000)	0,791 (0,000)	-3,263 (0,000)	0,950 (0,192)
Tiempo hasta la pérdida de la llamada	0,004 (0,361)	0,998 (0,045)	0,999 (0,688)	0,999 (0,219)	0,004 (0,548)	0,994 (0,000)
Tiempo hasta atender la llamada	N/A	1,033 (0,000)	1,033 (0,000)	1,033 (0,000)	0,477 (0,000)	1,033 (0,000)
N_Oper*N_Med_Coor	N/A	1,049 (0,000)	1,122 (0,000)	1,062 (0,000)	0,183 (0,002)	1,028 (0,000)
LL_Recib*N_Oper*N_Med_Coor	N/A	1,000 (0,000)	0,999 (0,000)	1,000 (0,000)	0,000 (0,087)	1,000 (0,000)
LL_Recib*N_Oper*N_Med_Coor*Dur_Perd	N/A	1,000 (0,000)	1,000 (0,243)	1,000 (0,000)	0,000 (0,000)	1,000 (0,000)
LL_Recib*N_Oper*N_Med_Coor*Dur_Perd*cogidas	N/A	1,000 (0,000)	1,000 (0,349)	1,000 (0,000)	0,000 (0,000)	1,000 (0,000)
Escala	N/A	1,000	1,000	1,038	15,386	14,008

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la variable tiempo hasta la pérdida de la llamada es significativa en los modelos de regresión de Poisson ($p=0,045$) y Normal con enlace logaritmo ($p=0,000$). Para el caso de la regresión lineal y la regresión normal con función de enlace identidad la estimación del efecto del número de médicos coordinadores pasa a ser de algo más del doble (-3,263) que para la regresión lineal (-1,335), reduciendo ligeramente el efecto del número de operadores (de -1,095 a -1,166). Es de destacar que el resto de modelos obtienen unos estimados muy similares, a excepción de la regresión normal con función de enlace logarítmica, que reduce los efectos de las variables. Las estimaciones de los modelos lineales generalizados con función de enlace logarítmica se interpretan, tomando la regresión de Poisson, como que hay una incidencia superior en un 3,2% a medida que se incrementa una llamada recibida, manteniéndose el resto de covariables constantes, así como un riesgo menor en un 10,4% cuando hay un operador más manteniéndose el resto de covariables constantes, un riesgo inferior en un 14,4% cuando hay un médico coordinador más manteniéndose el resto de covariables constantes, y un incremento de la incidencia de llamadas perdidas del 4,9% por la interacción de los operadores y médicos coordinadores, y de un 3,3% por cada segundo que se tarde en atender una llamada que finalmente sea atendida.

Los modelos estimados presentan una bondad de ajuste y capacidad predictiva muy heterogéneas, incluso la regresión lineal y la Normal con enlace identidad estiman franjas horarias con pérdidas de llamadas negativas. Por ello se hace necesario profundizar en el comportamiento agrupado por franjas y meses de las 8.760 observaciones tomadas. En la tabla 2.17 se exponen los mejores resultados tomando el criterio RMSE de los modelos agrupando por los factores indicados.

Tabla 2.17: Identificación de los modelos lineales generalizados de mejor capacidad predictiva según el criterio “menor error cuadrático medio” por franja y mes en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

MES FRANJA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	BN	BN	T	T	BN	T	NLog	BN	T	BN	BN	NLog
1	P	BN	BN	BN	T	T	BN	BN	BN	BN	BN	T
2	P	BN	T	BN	BN	T	P	BN	T	BN	BN	BN
3	T	BN	BN	BN	BN	T	BN	NLog	BN	BN	T	BN
4	T	BN	T	BN	BN	BN	BN	NLog	BN	BN	BN	T
5	P	BN	BN	BN	BN	BN	BN	P	BN	BN	BN	BN
6	T	BN	BN	BN	BN	BN	BN	P	BN	BN	BN	BN
7	P	BN	P	BN	BN	BN	NLog	BN	BN	BN	BN	BN
8	NLog	NLog	BN	BN	BN	BN	BN	BN	BN	BN	BN	NLog
9	NLog	NLog	NLog	NLog	P	T	NLog	NLog	NLog	T	P	NLog
10	NLog	P	P	T	BN	P	BN	NLog	BN	BN	T	NLog
11	NLog	NLog	NLog	P	T	BN	NLog	NLog	T	NLog	NLog	NLog
12	P	T	BN	BN	BN	BN	BN	BN	P	BN	P	BN
13	BN	NLog	T	BN	BN	BN	BN	P	P	T	NLog	NLog
14	T	NLog	NLog	NLog	BN	BN	BN	NLog	BN	NLog	NLog	BN
15	NLog	BN	BN	BN	T	BN	BN	BN	NLog	BN	P	P
16	BN	P	BN	BN	BN	NLog	NLog	BN	BN	NLog	NLog	BN
17	BN	BN	BN	BN	T	NLog	BN	P	BN	NLog	NLog	P
18	BN	BN	NLog	BN	BN	BN	NLog	T	BN	BN	P	BN
19	BN	BN	T	BN	BN	T	NLog	BN	BN	BN	BN	BN
20	NLog	NLog	T	T	BN	BN	BN	NLog	BN	BN	BN	P
21	NLog	NLog	P	P	T	BN	P	BN	P	BN	NLog	BN
22	NLog	NLog	BN	T	T	BN	T	BN	BN	BN	BN	NLog
23	T	BN	BN	BN	P	T	T	NLog	T	T	BN	BN

BN= Binomial Negativa Nlog= Normal con enlace logaritmo T= Tweedie 1.2 P= Poisson

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la regresión binomial negativa es la más frecuente con el 54% del total de la agrupación, seguida de la Normal con enlace logaritmo con un 20%, *Tweedie* con el 15% y regresión de Poisson con 11%.

En la tabla 2.18 se exponen los resultados promedios por franja bajo el criterio de MAPE.

Tabla 2.18: Identificación de los modelos lineales generalizados de mejor capacidad predictiva según el criterio “menor error absoluto porcentual medio” por franja y mes en el *call center* de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

franja	Binomial Negativa	Normal enlace logaritmo	<i>Tweedie</i>	Poisson	Mínimo
0	15,6%	24,4%	13,7%	14,1%	13,7%
1	11,2%	33,0%	14,3%	15,8%	11,2%
2	11,1%	50,2%	14,6%	17,5%	11,1%
3	15,3%	63,7%	22,7%	26,9%	15,3%
4	12,0%	68,7%	22,1%	27,7%	12,0%
5	26,9%	100,7%	41,2%	47,9%	26,9%
6	10,3%	69,2%	20,7%	26,3%	10,3%
7	15,2%	27,7%	15,0%	14,5%	14,5%
8	23,4%	19,7%	26,1%	26,7%	19,7%
9	32,4%	9,4%	11,9%	10,7%	9,4%
10	9,6%	7,1%	7,9%	7,7%	7,1%
11	24,1%	5,4%	10,7%	8,8%	5,4%
12	7,2%	7,6%	7,2%	7,3%	7,2%
13	8,4%	8,2%	8,3%	8,3%	8,2%
14	7,6%	6,1%	7,6%	7,4%	6,1%
15	8,2%	6,8%	7,9%	7,8%	6,8%
16	10,5%	6,3%	9,4%	9,1%	6,3%
17	10,0%	8,6%	9,3%	9,0%	8,6%
18	5,8%	8,3%	6,1%	6,2%	5,8%
19	9,5%	13,2%	10,1%	10,3%	9,5%
20	11,8%	12,1%	11,2%	11,2%	11,2%
21	14,4%	12,1%	12,0%	12,1%	12,0%
22	11,4%	12,1%	11,2%	11,2%	11,2%
23	15,9%	29,8%	17,7%	19,1%	15,9%

Fuente: Elaboración propia

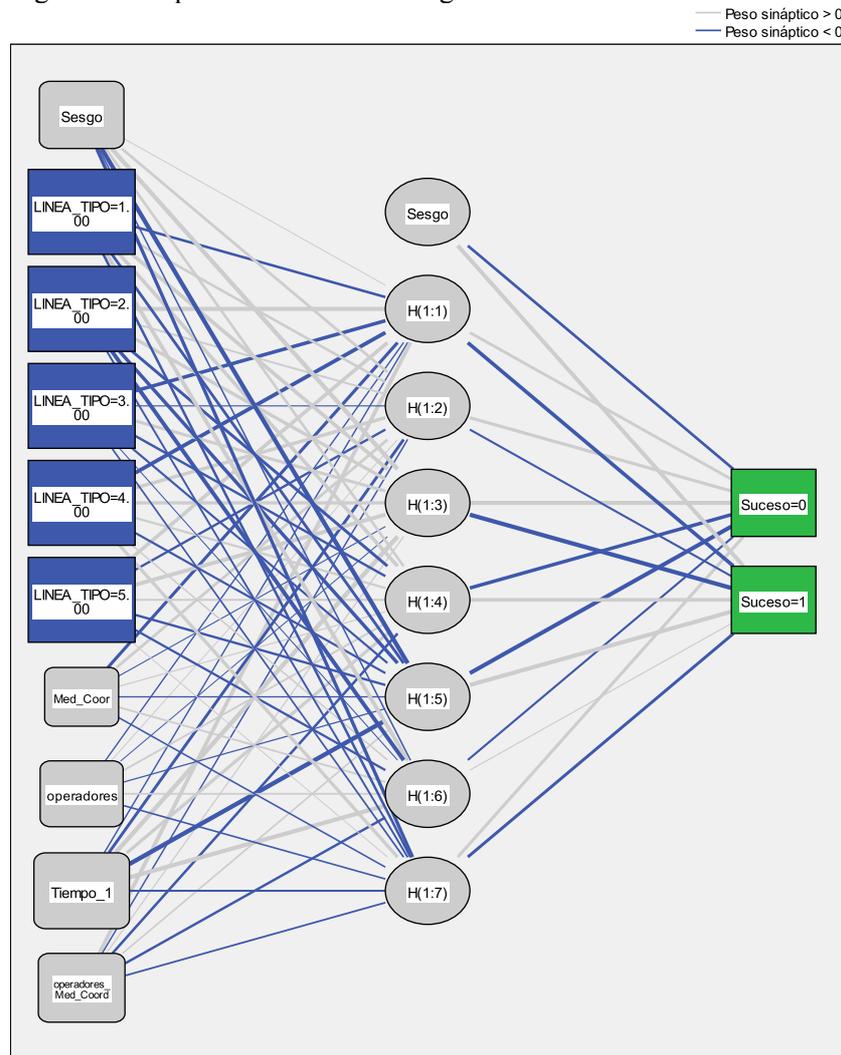
Se obtiene un MAPE global del 11%, destacando como mejores ajustes la regresión binomial negativa en las franjas nocturnas de baja actividad (1-6 horas) y la regresión Normal con enlace logaritmo en alta actividad (8-11 y 13-17 horas). De 18-0 horas está repartido entre todas, a excepción de la regresión Normal con enlace logaritmo.

2.2.3.- Clasificación de llamadas en atendida o perdida mediante análisis discriminante, regresión logística binaria y modelos de red neuronal.

Se presentan en primer lugar los resultados de los modelos de red neuronal, a continuación los del análisis discriminante y finalmente la regresión logística binaria.

En el gráfico 2.18 se representa el esquema de la red perceptrón multicapa (MLP) aplicado, que se caracteriza por una topología de una capa oculta con función de activación tangente hiperbólica (tipo sigmoideo), capa de salida con activación softmax (equivalente a una regresión logística múltiple) y función de error de entropía cruzada.

Gráfico 2.18: Red neuronal perceptrón multicapas para la clasificación de llamadas en el *call center* de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.



Función de activación de capa oculta: Tangente hiperbólica

Función de activación de capa de salida: Softmax

Fuente: Elaboración propia

La red se construye sobre la base de datos de llamadas individuales, teniendo en cuenta todas las abandonadas entre 1 y 60 segundos, tal como se ha realizado en el análisis de supervivencia. De igual manera se ejecuta otra red de base radial (RBF), cuya diferencia estriba en que la función de activación de la capa oculta es la identidad, es decir, se supone una activación de la capa asumiendo una función de densidad Normal con función de minimización de suma de cuadrados de los errores.

Las variables incluidas son tiempo hasta que se atiende o pierde la llamada (Tiempo), número de operadores (Operador), número de médicos coordinadores (Médico Coord), su interacción y tipo de línea (Línea – 061, 112, Urgencias, Transporte, Otras -). Estas variables se aplican a todos los modelos, a excepción del análisis discriminante que sólo considera las no categóricas (Tiempo, Operador, Médico Coord.).

En la tabla 2.19 se muestran los porcentajes de aciertos de cada uno de los modelos aplicados.

Tabla 2.19: Porcentaje de acierto de los modelos de clasificación de llamadas en el *call center* de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

Modelo	Atendidas	Perdidas	Global
MLP	97,82%	25,27%	88,41%
RBF	99,68%	5,30%	87,44%
RLB	90,01%	19,25%	80,83%
Discriminante	96,93%	10,78%	85,76%

MLP: red perceptrón multicapa RBF: red de base radial RLB: Regresión Logística Binaria
Fuente: Elaboración propia

Se observa que el mejor pronóstico lo presenta la red MLP con un acierto global del 88,41% de los casos (97,82% de atendidas y 25,27% de perdidas), le siguen la red RBF con el 87,44% (99,68% de atendidas y 5,30% de perdidas) y el análisis discriminante con el 85,76% (96,93% de atendidas y 10,78% de perdidas), finalmente la Regresión Logística Binaria (RLB) con el 80,83% (90,01% de atendidas y 19,25% de perdidas). En el Anexo VI se muestran los valores de los pesos sinápticos o estimaciones de los coeficientes de la red MLP.

La importancia relativa de las variables para ambos modelos de redes neuronales se expone en la tabla 2.20.

Tabla 2.20: Importancia relativa de las variables en los modelos de redes neuronales de clasificación de llamadas en el *call center* de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

	MLP	RBF
Variables	Importancia normalizada	Importancia normalizada
Tipo de Línea	100%	47%
Tiempo	75%	99%
Operadores*Med Coord	55%	77%
Operadores	46%	100%
Med Coor	26%	88%

MLP: red perceptrón multicapa RBF: red de base radial
Fuente: Elaboración propia

Destaca la mayor importancia de las variables tipo de línea y tiempo en la red MLP, por el contrario la red RBF da más importancia a las variables operadores, médico coordinador y tiempo.

En la tabla 2.21 se muestran los coeficientes de la función de clasificación del análisis discriminante.

Tabla 2.21: Coeficientes de la función de clasificación del análisis discriminante en los modelos de clasificación de llamadas en el *call center* de emergencias sanitarias de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

	Suceso	
	Atendidas	Perdidas
Med Coor	1,176	1,145
Operadores	2,201	2,219
Tiempo	,069	,083
(Constante)	-12,768	-14,896

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo una única función discriminante. Salvo la constante y el tiempo que transcurre hasta atender o perder la llamada, los coeficientes son muy similares.

En las tablas 2.22 y 2.23 se exponen los resultados de la prueba de Hosmer y Lemeshow, y los coeficientes del tipo de línea.

Tabla 2.22: Prueba de Hosmer y Lemeshow para la regresión logística binaria en los modelos de clasificación de llamadas en el *call center* de emergencias sanitarias de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

Paso	Chi cuadrado	gl	Sig.
1	1815,008	8	,000

gl: grados de libertad. Sig. Significación
Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.23: Estimaciones de los coeficientes, por tipo de línea, de la regresión logística binaria en los modelos de clasificación de llamadas en el *call center* de emergencias sanitarias de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

	B	E.T.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)
línea tipo			10627,300	4	,000	
061	1,494	,017	7448,020	1	,000	4,456
112	-1,662	,059	787,369	1	,000	,190
Urgencias	1,138	,019	3778,932	1	,000	3,120
Transporte	1,116	,020	3250,188	1	,000	3,052
Tiempo	,010	,000	816,446	1	,000	1,010

gl: grados de libertad. E.t.: Error típico del coeficiente Sig. Significación
Fuente: Elaboración propia

La mencionada prueba indica que el modelo de regresión logística binario no es adecuado a la estructura de los datos. Se ha aplicado el método de Wald para la inclusión de variables, destacando que el riesgo de perder una llamada se multiplica por 3 en la línea 061 respecto de la línea Otras, así como que en la línea 112 el riesgo se reduce en un 81% respecto a Otras.

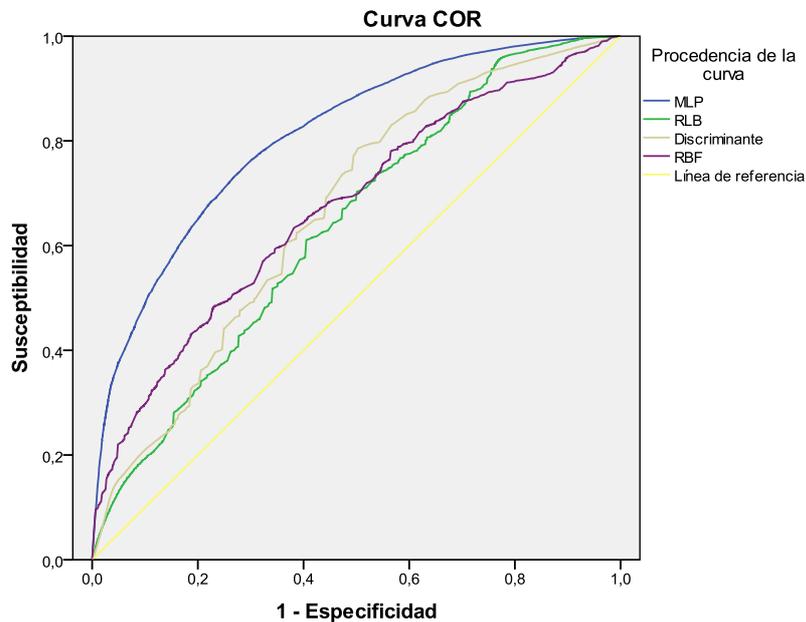
Para una visión conjunta de los cuatro métodos empleados, en el gráfico 2.19 y tabla 2.24 se exponen los resultados del ajuste de una curva ROC.

Tabla 2.24: Área bajo la curva COR de los modelos de clasificación de llamadas en el *call center* de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

Variables resultado de contraste	Área	Error típico	Sig. asintótica	Intervalo de confianza asintótico al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
MLP	,809	,001	,000	,808	,811
RLB	,637	,001	,000	,635	,639
Discriminante	,665	,001	,000	,663	,667
RBF	,672	,001	,000	,669	,674

MLP: red perceptrón multicapa RBF: red de base radial RLB: Regresión Logística Binaria
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2.19: Curva COR de los modelos de clasificación de llamadas en el *call center* de emergencias sanitarias de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.



Los segmentos diagonales son producidos por los empates.
Fuente: Elaboración propia

Se destaca que el método que cubre mayor área bajo la curva es la red neuronal MLP con el 81%, seguida del análisis discriminante y red de base radial con el 67%, aunque con formas diferentes y en todos los casos significativas y distintas del área mínima de 0,5.

Finalmente, en la tabla 2.25 se presenta una comparativa de las medidas habituales para evaluar la bondad de los métodos aplicados en cuanto a su capacidad de clasificar adecuadamente una llamada cuando ésta es atendida (sensibilidad o susceptibilidad), clasificar correctamente las llamadas perdidas dado que se ha perdido (especificidad), valores predictivos positivos y negativos, y prevalencia.

Tabla 2.25: Medidas de bondad de los modelos de clasificación de llamadas en el *call center* de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

Comparativa	MLP	RBF	RLB	Discriminante
Prevalencia	94,82%	99,03%	88,81%	95,93%
Sensibilidad	89,78%	87,60%	88,21%	87,94%
Especificidad	63,29%	70,96%	22,30%	34,32%
Precisión Global O Eficiencia De La Prueba	88,41%	87,44%	80,83%	85,76%
VPP	97,82%	99,68%	90,01%	96,93%
VPN	25,27%	5,30%	19,25%	10,78%

MLP: red perceptrón multicapa RBF: red de base radial RLB: Regresión Logística Binaria
VPP: valores predictivos positivos VPN: valores predictivos negativos

Fuente: Elaboración propia

Se observa una prevalencia superior a la empírica (87%) de llamadas atendidas, por lo que todos los modelos infraestiman el porcentaje de llamadas perdidas con altos valores

predictivos positivos (VPP) y bajos valores predictivos negativos (VPN). La red MLP presenta una especificidad del 63,29%.

2.3.- DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se ha realizado un análisis de las llamadas perdidas desde tres perspectivas distintas. La primera trata de comprender el mecanismo generador de la impaciencia de los usuarios, y para ello se hace uso del análisis de supervivencia. La segunda se orienta a la toma de decisiones basada en el conocimiento del pronóstico de llamadas perdidas agrupadas en franjas horarias y meses, que suponen la base de la planificación de las necesidades de personal para atender las operaciones del *call center* de emergencias de EPES. La tercera identifica modelos que clasifican las llamadas recibidas en atendidas y perdidas al objeto de obtener un mecanismo fiable que infiera probabilidades de discriminar los escenarios de mayor riesgo de llamadas perdidas.

El análisis de supervivencia muestra que no ha sido posible encontrar un ajuste paramétrico ni semiparamétrico a la observación empírica de la supervivencia y riesgo de las llamadas recibidas de gran exactitud, aunque sí aceptables (coeficiente de correlación de 0,915 sin diferenciar tipos de líneas). La regresión de Cox sobrestima ligeramente la supervivencia, al contrario que los ajustes paramétricos y modelo de fallo acelerado, aunque ambos estiman que el incremento de efectivos (operadores y médicos coordinadores) reducirían las llamadas perdidas, en especial el rol de médico coordinador, reconociendo una distinta impaciencia según el tipo de línea. En concreto, en la regresión de Cox el médico coordinador reduce un 24,1% el riesgo de llamadas perdidas, y en el modelo de fallo acelerado se muestra un efecto de incremento de 4,04 segundos en los tiempos de paciencia de los llamantes. Los escasos trabajos publicados indican que es posible aplicar la regresión de Cox, pero que no es fácil que se cumplan los supuestos de proporcionalidad a lo largo del tiempo de observación (Feigin, 2006) y aunque es cierto, como se ha probado para el caso de EPES, es posible aplicar una versión extendida que tenga en cuenta al tiempo como covariable, resultando que la mayor influencia se produce por el transcurso de los segundos hasta atender la llamada y a pesar que ello es debido a la demanda y oferta de servicio, es posible asegurar la significación de los recursos dispuestos, independientemente del tiempo que transcurra, actuando como mecanismo protector de las llamadas perdidas.

En este análisis, la inclusión de las variables franja, mes, y día de la semana no mejoran la bondad del ajuste de los modelos, e incluso afectan a la significación de los recursos (operador y médico coordinador), lo que indica que se produce un efecto sustitución de las explicaciones basadas en los recursos disponibles a la localización temporal de la variabilidad.

El comportamiento de los usuarios de las distintas líneas es distinto en lo que respecta a su paciencia y no se puede afirmar que tenga relación exclusivamente con la situación de emergencia. Las líneas 061 y 112 atienden a las emergencias de mayor prioridad previa, pero se diferencian en que el acceso por 061 es la propia persona o alertantes los que realizan la comunicación, mientras que por el 112 es un operador de ese servicio el que se pone en contacto con EPES, por lo que en definitiva es una comunicación entre profesionales y ello explica su mayor paciencia. El grupo de líneas de Otras tienen en común que son de comunicación con profesionales de EPES, del Sistema Sanitario Público y de otros profesionales como el Servicio de Teleasistencia, por lo que

explicaría también su alto grado de paciencia. Por el contrario resulta más llamativa la impaciencia de la línea de Transporte, dado que son comunicaciones con profesionales del sistema sanitario, aunque ha tenerse en consideración que no es una situación de emergencia inmediata. La línea de Urgencias comparte rasgos comunes con la de 061, pues la comunicación es con usuarios, aunque la situación podría ser de menos gravedad, mostrándose más pacientes hasta los 45 segundos para posteriormente abandonar la comunicación muy rápidamente. Además, se ha podido constatar que los ajustes paramétricos proporcionan funciones de supervivencia muy dispares según el tipo de línea, lo que confirma el distinto comportamiento de los usuarios según este parámetro.

Existen razones para pensar que estos diferentes grados de impaciencia no se deben al azar. En la escasa evidencia empírica publicada, en Jouinie *et al* (2013), el análisis de la impaciencia en cuatro empresas de diversos sectores tales como banca y servicios sanitarios, se observa una alta impaciencia inicial y distintos comportamientos según los servicios que se ofrecen.

De los modelos ajustados de supervivencia, el estimador Kaplan-Meier ofrece los resultados más realistas que se pueden complementar, aunque con precauciones, con la influencia que ejercen las variables médico coordinador, y tipo de línea. Dado que una de las críticas que suele vertirse sobre el ajuste de Kaplan-Meier se refiere a que no ofrece una formulación compacta y es necesario disponer de todo el rango de valores para calcular la supervivencia, se ha ajustado una regresión cúbica que palia esta crítica y con tan sólo indicar el número de segundos proporciona la probabilidad de supervivencia.

La impaciencia media varía entre modelos, situándose en 43 segundos por el método de Kaplan-Meier y en 41 segundos en los modelos paramétricos, con mínimos de 25 segundos y variaciones en función del tipo de línea. Dado que el objetivo es poder calcular una impaciencia media para aplicar en los modelos de colas del capítulo 4, es posible estimar dicha impaciencia en el rango de 35-50 segundos desde los momentos de mayor número de llamadas perdidas hasta los de menos, teniendo en cuenta las proporciones de llamadas por los diferentes tipos de líneas. Estas cifras no son coincidentes con los trabajos de Mandelbaum *et al* (2013), que situaban la impaciencia en el rango de 5 a 20 minutos, aunque su trabajo está realizado para un centro de atención de llamadas de servicios financieros.

El análisis de componentes principales identifica una primera componente relacionada con el dimensionamiento de los recursos, que agrupa las variables hora, médico coordinador y operador. La segunda componente relaciona la impaciencia con el tipo de línea del usuario, y la tercera el momento temporal (mes y día de la semana). Por ello, se puede concluir que el dimensionamiento es crucial para evitar la variabilidad de llamadas perdidas, así como tener en cuenta los distintos grados de impaciencia de los usuarios, y que además no es homogéneo en el tiempo, sino que los meses y días de mayor afluencia de llamadas se producen llamadas perdidas más que proporcionalmente. Este resultado se confirma con el análisis cluster, teniendo en cuenta la similitud de las variables, ya que se obtiene la misma agrupación. Por su parte, el cluster con disimilitud revela que las variables médico coordinador y operador están íntimamente relacionadas. Estas consideraciones pueden servir para tratar de incluir variables resumen en los posteriores análisis de llamadas perdidas por franja y mes, ya que advierten de los posibles problemas de multicolinealidad de las variables, hecho que

ocurre en el modelo de regresión lineal múltiple, en el que se incluyen las variables del primer componente del análisis de componentes principales además del tiempo de espera hasta perderse la llamada, que resultó no significativo. Además el modelo de regresión lineal estimó 640 franjas con valores negativos, hecho que dificulta notablemente considerar su aplicación.

Los resultados de los modelos lineales generalizados, no son muy precisos, presentando errores hasta del 50% y número de llamadas promedio de error de entre 3,7 y 5 por cada franja de cada mes, sin embargo, cuando se agrupan para el total de cada franja de cada mes los errores en MAPE se sitúan en el 11%, combinando las estimaciones de los modelos. Ha de tenerse en cuenta que el promedio de llamadas perdidas por franjas es algo más de 8 y en las franjas de madrugada no llegan a 2, por lo que es de esperar unas desviaciones relativas altas. Dado que ninguno de los modelos ha presentado una superioridad absoluta sobre los demás, siendo los de mejores ajustes la regresión binomial negativa y Normal con enlace logarítmico, lo idóneo es combinar los modelos en aquellas franjas que se han mostrado más precisos. La regresión binomial se comporta muy bien en las franjas de poca actividad, y bien en general, salvo las franjas de las 8, 9 y 11 horas, ello explica que su desviación (ajuste del modelo a la estructura de datos) sea la menor, pero la influencia de las mencionadas franjas explica por qué es el peor modelo en términos de RMSE. En las franjas de alta actividad de mañanas (8-11 horas) y tarde (12-18) el mejor modelo es la regresión normal con enlace logaritmo, que al contrario que la binomial negativa se ajusta peor en las franjas de baja actividad. La propuesta es aplicar la regresión binomial negativa en las franjas de 0-7 horas y 18-23 horas, para el resto se debe aplicar la regresión normal con enlace logaritmo (8-17 horas).

Aunque la inclusión de las variables franja y mes mejoraron ligeramente la bondad del ajuste y la capacidad predictiva de todos los modelos, fue a costa de dejar de ser significativas las variables de operadores y médicos coordinadores, lo que indica que se produce también en este tipo de modelos, un efecto sustitución de las explicaciones basadas en los recursos disponibles a la localización temporal de la variabilidad. Este hecho, desde un punto de vista de la gestión, implica suponer que los recursos puestos a disposición de la prestación de servicios no influyen en las llamadas perdidas y si son influyentes los momentos temporales en los que se producen, siendo justamente esta última afirmación la consecuencia de los recursos dispuestos. En otras palabras, el dimensionamiento dispuesto para la demanda real debe influir en el número de llamadas perdidas, y éstas se producen en momentos temporales en los que el dimensionamiento no es del todo adecuado. Por ello, en estos modelos no es recomendable incluir variables de localización temporal.

Es destacable que la variable tiempo hasta que se pierde la llamada (impaciencia) no ha resultado significativa en algunos de los modelos, dando a entender que no ha sido influyente para el volumen de llamadas perdidas. Sin embargo si lo es el tiempo hasta que se atiende la llamada, incrementándose el riesgo de que se pierda la llamada en un 3,3% por cada segundo que transcurra. Puede concluirse, por tanto, que el tiempo transcurrido si afecta al abandono de la llamada, siendo congruente con las conclusiones del análisis de supervivencia y con los trabajos citados.

La importancia del dimensionamiento puede concluirse del efecto de interacción de la variables operador y médico coordinador, que influyen en la pérdida de llamadas, entre un 2,8% y un 12% según modelos y que se corresponden con la alta y baja actividad

respectivamente. Como era de esperar la aportación de los recursos operador y médico coordinador ayudan a que se pierdan menos llamadas, reduciéndose el riesgo entre un 46% y un 5% (baja y alta actividad) para el caso del médico coordinador, y reduciéndose entre un 24% y un 7% (baja y alta actividad) para el caso del operador. Aunque la influencia del médico coordinador es mayor que la del operador, la interacción de ambos presenta un mayor riesgo en baja actividad ya que el dimensionamiento es aproximadamente la mitad que en alta actividad, lo que provoca una mayor variación en llamadas perdidas si no se disponen de los efectivos necesarios. Estos resultados podrían indicar la posibilidad de que el médico coordinador pueda constituir un cuello de botella, que será estudiada en el capítulo 4.

Las llamadas recibidas incrementan también el número de llamadas perdidas entre un 4,6% y 2,5% por cada una, lo que explica que en las franjas de alta actividad la pérdida de llamadas sea más que proporcional.

En resumen, el número de llamadas recibidas, tiempos hasta que son atendidas y la interacción del dimensionamiento incrementan los riesgos de pérdidas, que se mitigan por la acción de los recursos dispuestos para atender la demanda. El pronóstico de llamadas perdidas por franja y mes podría agruparse por este último factor para complementar a los modelos de pronóstico de llamadas recibidas del capítulo 3 con objeto de obtener una mejor previsión de la demanda que apoye un dimensionamiento adecuado que se calcula en el capítulo 4.

Los resultados obtenidos en la clasificación de llamadas resultan aceptables, globalmente considerados, siendo la red MLP la de mejor resultado junto con el análisis discriminante. Los otros dos modelos, red RBF y regresión logística binaria no permiten discriminar adecuadamente las llamadas perdidas. Los valores predictivos negativos son muy imprecisos, la red MLP clasifica adecuadamente el 25,27% de las llamadas perdidas, sin embargo los valores predictivos positivos son altísimos.

El tipo de línea y el tiempo transcurrido hasta la atención o pérdida de la llamada son las variables de mayor influencia en la red MLP, con casi el doble de valor que los recursos dispuestos (operador y médico coordinador). Estos resultados no son coincidentes con los obtenidos del análisis de componentes principales, en el que los recursos dispuestos y la demanda explicaban la mayor parte de la variabilidad, pero dado que el tiempo y tipo de línea son la consecuencia del dimensionamiento ofertado para la demanda real es razonable esperar que a efectos de clasificar la llamada en perdida o atendida tengan mayor capacidad discriminatoria. Sin embargo la red RBF da más importancia a los recursos dispuestos, aunque sus resultados son inferiores a MLP.

Todos los análisis conducen a que una mayor oferta de recursos adecuadamente dimensionados reducen el número de llamadas perdidas, asimismo tras los resultados en los tres bloques metodológicos, la inclusión de variables *dummies* de mes, hora y día de la semana distorsionan los resultados ya que, como es de esperar, lo que ocurre en esos espacios temporales depende de la demanda y la oferta.

Futuras líneas de investigación implican otras metodologías alternativas de análisis, tales como los modelos multinivel (Goldstein, 2009), en los que se podría descomponer la varianza de acuerdo a factores que influyen en el nivel micro de cada llamada y un segundo nivel sobre franjas y meses, por lo que la aplicación de modelos multinivel de clasificación cruzada podrían arrojar luz sobre el mecanismo generador de datos necesario para aplicar sobre modelos de colas que optimicen el dimensionamiento. La

aplicación de los modelos multinivel supondría un puente entre el primer bloque metodológico (análisis de supervivencia) y el segundo (pronóstico de llamadas por cada franja de cada mes), lo que supondría una novedad metodológica ya que no se conocen trabajos publicados en esta línea de investigación.

Las principales limitaciones del trabajo están intrínsecamente relacionadas con la escasa capacidad de generalización de los resultados para cualquier centro de atención de llamadas o *call-center*, dado que la estructura de las operaciones va a determinar los resultados sobre impaciencia de sus usuarios, y teniendo en cuenta que el volumen de información censurada es muy importante, la estabilidad de los tiempos de impaciencia es muy volátil en función del tipo de centro de atención. No obstante la aplicación de las metodologías aplicadas permite ampliar el conocimiento del comportamiento de los usuarios para aplicar otros modelos de dimensionamiento como los expuestos en el capítulo 4.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos para el *call-center* de EPES se recomienda aplicar el estimador de Kaplan-Meier para obtener el tiempo de impaciencia empírico, una combinación de los modelos de regresión binomial negativa para periodos de baja y media actividad junto con una regresión normal con enlace logaritmo para periodos de alta actividad y una red neuronal perceptrón multicapa para la clasificación de llamadas.

En resumen, es recomendable la aplicación de modelos de análisis de supervivencia, que tienen en cuenta la presencia de observaciones censuradas, ya que muestra como a pesar de que en los 10 primeros segundos se pierden dos tercios del total de llamadas, la probabilidad de supervivencia es alta, dado que el 60% de las llamadas atendidas totales también ocurren en ese intervalo temporal, además de proporcionar un tiempo de impaciencia (35-50 segundos) para aplicar a modelos de colas. Los bloques metodológicos siguientes no han sido explorados por la literatura en *call-centers*, y aportan un complemento de ajuste a la demanda cuando se pronostica el número de llamadas recibidas, además de aflorar factores (franja horaria, mes, día de la semana) que introducen confusión en las variables realmente relevantes y ofrecer un modelo de clasificación de llamadas con un acierto razonable.

CAPITULO 3.- PRONÓSTICO DE DEMANDA DE LLAMADAS DE EMERGENCIAS SANITARIAS DEL *CALL CENTER* DEL SERVICIO PROVINCIAL DE MÁLAGA. EMPRESA PÚBLICA DE EMERGENCIAS SANITARIAS DE ANDALUCÍA.

“Todos los modelos son falsos, aunque algunos son útiles”
G.E. Box

INTRODUCCIÓN

En el capítulo introductorio de la tesis se indicó que la carga de trabajo de un *call center* se determina atendiendo a los tiempos de asistencia y volumen de demanda. Este capítulo se centra en el pronóstico de éste último aspecto, aplicando instrumentos de pronóstico de demanda de las llamadas recibidas, que suponen el primer *input* informativo necesario para la planificación de las operaciones y son un elemento clave para una estrategia sostenida de mejora y creación de valor.

Teniendo en cuenta esta perspectiva de *input* inicial de la planificación, se explora la aportación del análisis de series temporales con fines de pronóstico de llamadas. Los modelos de series temporales son apropiados en previsiones a corto plazo y en condiciones estables de evolución, sin embargo tienen el grave inconveniente de que siguen la estructura pasada. La ventaja de estos modelos reside en la facilidad para detectar un cambio de comportamiento de la serie, en la medida que los datos observados difieran de la misma, lo que permite intervenir más rápidamente (Peña, 2010). Los modelos clásicos de análisis de series de tiempo se basan en la descomposición de componentes; alternativamente, en el ámbito de los métodos econométricos, los estudios de series se abordan desde dos perspectivas, estructural y procesos estocásticos, que permiten incorporar variables exógenas, posibilitando el estudio de la causalidad.

Los primeros estudios de series temporales afirmaban que la evolución de los valores de la variable se explica a través de un conjunto de componentes (tendencia, estacionalidad, ciclo, y componente irregular), cuya relación puede ser aditiva o multiplicativa. Son componentes de carácter determinista inobservables, pero posibles de modelizar (Cáceres *et al*, 2008), conocidos como métodos clásicos de descomposición (modelación clásica). En este capítulo se realizan dos descomposiciones, la primera consiste en extraer la tendencia y modelizar la estacionalidad aplicando análisis espectral basado en la Transformada Rápida de Fourier (Aguirre, 1994). En la segunda descomposición, se desestacionaliza la serie por el método X-11 y se modeliza la tendencia minimizando la suma de los cuadrados de los residuos (Casas, 1999).

Un avance respecto a la modelación clásica es la aplicación de los modelos de alisado, siendo los más conocidos los de Brown, Holt, y Winters, que ajustan los componentes de la serie considerando una ponderación en la influencia temporal de los distintos valores de la variable, al contrario que la modelación clásica, en la que cada uno de los valores tiene igual peso o influencia. Los modelos de alisado permiten captar mejor variaciones en el nivel, tendencia y estacionalidad, en su caso, dando mayor peso a los últimos valores. Estos modelos provienen de la disciplina de la Investigación de Operaciones (Peña, 2010), y aunque algunos autores los consideran casos particulares de la modelación ARIMA (Aguirre, 1994; Peña, 2010), el modelo de triple parámetro de Winters no coincide con mucha exactitud con ningún modelo ARIMA (Pérez, 2006), aplicándose en este capítulo desde la perspectiva de una composición aditiva de componentes.

Como alternativa a estos modelos clásicos se plantean los modelos econométricos. El enfoque de procesos estocásticos, desde la vertiente univariante, tiene su máximo exponente en la modelación ARIMA, fundamentalmente a través de la metodología de

Box-Jenkins (Box y Jenkins, 1970), que se aplica tanto con fines descriptivos como predictivos, tomando en consideración los valores pasados de la propia variable, es decir, el número de llamadas recibidas depende de su propia historia (Pulido, 1999). En este capítulo se realiza un análisis ARIMA considerando los meses estivales como análisis de intervención²⁰ y la gripe como función de transferencia²¹.

El enfoque estructural o causal se basa en explicar el comportamiento de una variable en función de otra u otras. En este capítulo las llamadas recibidas se explican por el volumen de población (número de habitantes), las pernoctaciones en la provincia de Málaga (como aproximación a la estacionalidad en los meses de julio y agosto), y el efecto de la gripe, que explica el aumento de llamadas en los meses de diciembre y enero²², modelizando la estacionalidad con técnicas de análisis espectral, para obtener un modelo simple de espacio de estados.

El objetivo de este capítulo es identificar los modelos que mejor pronostiquen las llamadas recibidas en el *call center* de EPES en Málaga, tomando como base las llamadas recibidas de 2004 a 2008, y valorar los potenciales efectos sinérgicos de su utilización conjunta. Es el primer estudio que combina 6 métodos de series temporales, incluyendo variables exógenas, susceptibles de ser resueltos con *software* estándar, analizando las ventajas comparativas de cada uno, así como el valor añadido de su utilización conjunta. También se contrastan estos resultados con la práctica habitual de predicción, consistente en calcular un total anual basado en tendencias observadas, para posterior reparto por meses de acuerdo a proporciones medias observadas años atrás. Los modelos han de poseer un error absoluto porcentual medio (*mean absolute percent error*, MAPE) inferior al 5% para alinear los pronósticos con los objetivos presupuestarios.

El capítulo se estructura de la siguiente forma. En el apartado primero se exponen los antecedentes más relevantes, un apartado 2 de metodología introduce cada modelo, posteriormente, en el apartado 3, se exponen los resultados de mayor interés y se comparan en términos de precisión de los ajustes. Finalmente se exponen las conclusiones más relevantes y se presentan líneas metodológicas de avance.

²⁰ En los modelos con variables de intervención las series económicas son afectadas por fenómenos externos. Estos fenómenos son llamados intervenciones ya que interfieren en el comportamiento original de la serie, por lo tanto se debe evaluar su efecto e incorporarlo al modelo ARIMA a través de variables artificiales binarias (Kikut, 2002).

²¹ Una función de transferencia es un modelo matemático que a través de un cociente relaciona la respuesta de un sistema (modelada) a una señal de entrada o excitación (también modelada) (Peña, 2010).

²² La gripe es una enfermedad de declaración obligatoria (EDO), con ciclos epidémicos cada 10 años aproximadamente, y cuyo efecto estacional ha sido probado (Moreno-Civantos *et al*, 2000).

3.1 ANTECEDENTES

En la Tabla 3.1 se resumen los antecedentes más relevantes sobre pronóstico de llamadas a un *call center*:

Tabla 3.1: Antecedentes más relevantes sobre pronóstico de llamadas en *call center*.

Descomposición	Clásicos	Análisis espectral basado en la Transformada Rápida de Fourier	Tych et al (2002) y Taylor (2008) llamadas recibidas en un centro de atención de una entidad bancaria	
		Método X-11 de desestacionalización y minimización de la suma de los cuadrados de los residuos	Mabert (1985)	
		Medias Móviles	Zhu et al (1992) en un <i>call center</i> emergencias sanitarias, Setzler et al (2009) en <i>call center</i> emergencias sanitarias, Taylor (2008) en <i>call center</i> bancario, Martín Rodríguez (2008) en un centro de urgencias hospitalario, Perry et al (2010) número de urgencias basado en llamadas a <i>call center</i> sanitario	
		Splines	Martín Rodríguez (2008) en un centro de urgencias hospitalario [incluido en discusión], Matteson et al (2011) aplicado a <i>call center</i> emergencias sanitarias	
	Métodos de alisado: Modelo de triple parámetro de Winters	Baker y Fitzpatrick (1986), Mabert (1985) y Millán et al (2010) en un <i>call center</i> multifunción (multiskill), Taylor (2008) <i>call center</i> bancarios (doble estacionalidad)		
Econometría	Procesos Estocásticos (ARIMA)	Mabert (1985), Millán et al (2010) en un <i>call center</i> multifunción (multiskill), Taylor (2008) <i>call center</i> bancarios, Shen y Huang (2008) <i>call center</i> bancario, Aldor-Noiman et al (2009) <i>call center</i> bancario, Sun et al (2009) asistencias en centros de urgencias		
		Gripe como función de transferencia	Andrews and Cunningham, 1995 empresas de televenta relacionado con los días en los que se realiza la distribución de los catálogos, Carracedo et al (2008) niveles de polén y llamadas a un <i>call center</i> de emergencias	
		Meses estivales como análisis de intervención	Channouf et al (2007) en un <i>call center</i> emergencias sanitarias tomando los efectos calendario	
	Procesos Estocásticos. Modelos no lineales	GARCH	Matteson et al (2011) aplicado a <i>call center</i> emergencias sanitarias	
		FOS, PCI	Perry et al (2010) número de urgencias basado en llamadas a <i>call center</i> sanitario	
	Estructural	población, pernoctaciones, gripe	Kamenetsky et al (1982), McConnell et al (1998), Millán et al (2010) en un <i>call center</i> multifunción (multiskill), Perry et al (2010) número de urgencias basado en llamadas a <i>call center</i> sanitario envejecimiento, renta y empleo	
Análisis Bayesiano	Mixtura Poisson y SVD	Weinberg et al (2007) <i>call center</i> bancario y Shen y Huang (2008) <i>call center</i> bancario. Aldor-Noiman et al (2009) <i>call center</i> bancario		
Redes Neuronales	Perceptrón multicapa	Setzler et al (2009) en <i>call center</i> emergencias sanitarias, Millán et al (2010) en un <i>call center</i>		
Teoría del Caos	Hipótesis Fractal	Doldán (2007) para series financieras de cotizaciones		

SVD: *Singular Value Decomposition*. PCI: *parallel cascade identification*, identificación paralela en cascada. FOS: *fast orthogonal search*, búsqueda rápida ortogonal

Fuente: Elaboración propia

Aunque tradicionalmente, en el campo del pronóstico de demanda de *call center*, se ha utilizado el método de las medias móviles (Setzler et al, 2009), en el ámbito académico se ha prestado atención a otros métodos más complejos, particularmente el análisis de series temporales (Mandelbaum, 2006; Baker y Fitzpatrick, 1986; Mabert, 1985; Channouf *et al*, 2007). Sin embargo la investigación, hasta la fecha, no es muy extensa. Mandelbaum, (2006) revisa la bibliografía relativa a los estudios de llamadas en *call center*, encontrando 26 trabajos sobre estadística y pronóstico. No obstante, existe un creciente interés por el análisis del funcionamiento de los *call center* como consecuencia de la

rápida expansión de su implantación como canal de relación con los clientes. Por ello la frase de Gans *et al* (2003) que indicaba que el pronóstico de llamadas *is still in infancy* ya no es vigente.

Los diversos estudios realizan pronósticos en intervalos inferiores a la hora, horarios, diarios, semanales, mensuales, y anuales, aplicando diversas técnicas que se pueden resumir en el análisis de series temporales, por medio de descomposición clásica, modelos econométricos de series y estructurales, análisis bayesianos, y modelos de redes neuronales.

Los modelos clásicos de descomposición y los de alisado exponencial de Winters han sido aplicados por Baker y Fitzpatrick (1986) y en especial Mabert (1985), que introduce además los modelos clásicos de desestacionalización, y un ARIMA simple en la central de llamadas del 911 en el departamento de policía de Indianápolis (EEUU). Zhu *et al*, (1992) analizaron las llamadas recibidas diariamente, por métodos clásicos, llegando a la conclusión de que las tasas horarias de llegadas de llamadas varían considerablemente a lo largo de un día. Channouf *et al* (2007), analizan el volumen de llamadas a un *call center* de emergencias sanitarias en Alberta (Canadá), en intervalos horarios, días, y meses, aplicando la metodología ARIMA con análisis de intervención. Otros autores como Kamenetsky *et al* (1982) o McConnell *et al* (1998) aplican modelos estructurales, que demuestran que variables demográficas tales como envejecimiento, renta y empleo influyen en las llamadas de emergencias.

Recientemente Matteson *et al* (2011) para un centro de llamadas de emergencias de Toronto (Canadá) estudia la estacionalidad con splines, modelizando los movimientos semanales y diarios con lo que denomina factor latente estructural dinámico, que no es más que la aplicación de una estimación no paramétrica del tipo de vecino más cercano. Para el corto plazo (intervalos inferiores a la hora) aplica un modelo de series temporales no lineal de varianza condicionada (GARCH) que resulta adecuado, sin embargo las mejoras de pronóstico no son especialmente importantes dada la complejidad del modelo.

Otros modelos para los que no se han encontrado aplicación al ámbito de los *call center* de emergencias sanitarias serían los ARIMA con función de transferencia, que han sido estudiados en empresas de televenta, encontrando relación con el día que se realiza la distribución de los catálogos (Andrews y Cunningham, 1995), y las técnicas de análisis espectral y regresión armónica dinámica, que se han aplicado al pronóstico de llamadas recibidas en un centro de atención de una entidad bancaria con buenos resultados (Tych *et al*, 2002).

En el marco del análisis bayesiano para el pronóstico de llamadas se encuentra Weinberg *et al* (2007) que estudian intervalos de 15, 30 y 60 minutos, encontrando dependencia del día de la semana, aplicando procesos de mixtura de Poisson. Shen y Huang (2008) mejoran sus resultados aplicando una técnica de reducción de datos y detección de atípicos que denominan SVD (*Singular Value Decomposition*), para luego modelizar con un ARIMA que permite una actualización intradiaria del pronóstico.

El análisis comparativo de distintos modelos es aún más limitado. El trabajo de Taylor, (2008) para el caso de datos de dos *call center* bancario, compara métodos ARIMA, alisado de Winters de doble estacionalidad, regresión armónica dinámica, y medias móviles, llegando a la conclusión de que no se obtienen mejoras con los métodos más complejos, aunque no es generalizable a cualquier situación, sugiriendo que la inclusión

de variables exógenas podrían mejorar las previsiones. Taylor (2008) plantea que una vez estimado el volumen de llamadas por meses, se puede aplicar un método *top-down* que distribuya ese volumen a intervalos semanales, diarios y horarios, basados en proporciones o por aplicación de una distribución multinomial. Paralelamente al avance de la capacidad de cómputo se encuentra la aplicación de modelos de redes neuronales, (Millán *et al*, 2010) que se comparan con ARIMA, alisado exponencial de Winters y regresión ordinaria, obteniendo pequeñas mejoras en los resultados para intervalos de pronóstico de alta frecuencia (intervalos horarios). Parecidos resultados se encuentran en Setzler *et al* (2009), que para intervalos de pronóstico inferiores a tres horas (en un centro de emergencias sanitarias de Carolina del Norte), su modelo de red es mejor que el aplicado tradicionalmente por los *call center* basados en medias móviles. Otro trabajo que compara el método de medias móviles con modelos ARIMA y de mixtura de Poisson en un *call center* de una entidad financiera de Israel para pronósticos de 1 a 4 horas, encuentra ligeras mejoras en este último (Aldor-Noiman *et al*, 2009). Perry *et al*, (2010) para un *call center* de emergencias sanitarias de Ontario (Canadá), comparan los modelos de alisado, estructural, espacio de estados, y dos modelos de ajuste no lineal denominados identificación paralela en cascada (PCI) y búsqueda rápida ortogonal (FOS) para realizar pronósticos a 4 días con resultados algo imprecisos y errores absolutos porcentuales del 50%, no observándose grandes diferencias, a excepción del modelo de alisado que obtiene peores resultados.

En el ámbito sanitario, por analogía de los perfiles de uso, los trabajos sobre pronósticos de demanda de asistencias en centros de urgencias son escasos, pudiendo destacarse Sun *et al*, (2009) que aplica modelos ARIMA a las llegadas, discriminando niveles de prioridad en la atención, poniendo de manifiesto su utilidad para pronosticar las cargas de trabajo. Una revisión sistemática de modelos de pronóstico de visitas a un centro de urgencias en una búsqueda en Medline encontró sólo 9 artículos, todos ellos relacionados con el objetivo de ajustar las necesidades de personal, argumentando la necesidad de un pronóstico previo de la demanda (Wargon *et al*, 2009). Cuatro de ellos aplican regresión lineal múltiple, otros cuatro ARIMA, y el último compara alisado exponencial con ARIMA.

3.2 METODOLOGÍA

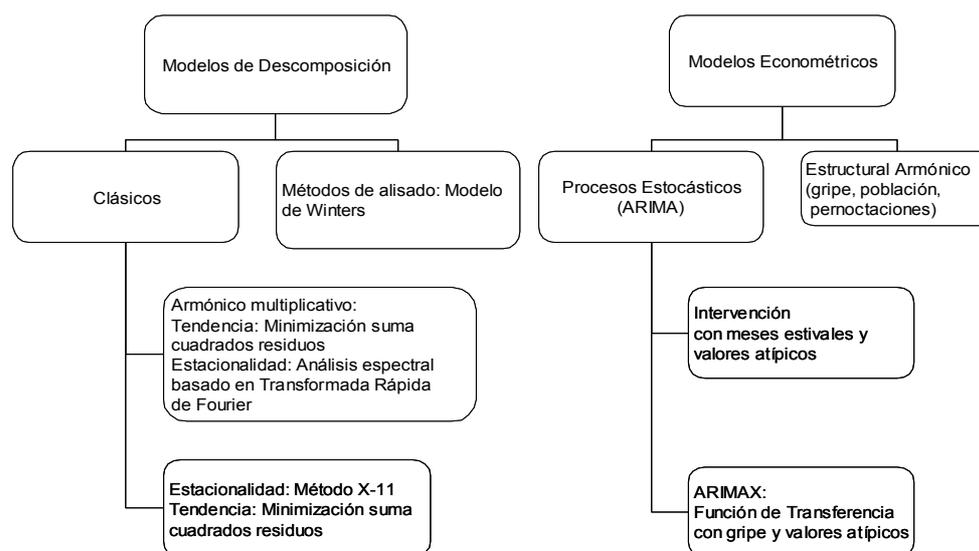
Estudio observacional descriptivo ecológico de las series temporales de las llamadas recibidas mensualmente desde enero 2004 a diciembre de 2008 en el Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias (EPES). Se utiliza como periodo de estimación 2004-2007 y como periodo de validación 2008, para evaluar el poder predictivo de los modelos. Las fuentes de información han sido el sistema de información de EPES (SIEPES) para las llamadas, y las estimaciones de la población de Málaga, el registro de pernoctaciones y el registro de enfermedades de declaración obligatoria del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2004 a 2008a, b y c). La variable número de pernoctaciones se ha transformado, aplicando a cada observación (mes) el cociente entre el número de pernoctaciones y el número de días de cada mes.

Estimar modelos con 48 observaciones es suficiente, no obstante sería deseable una mayor cantidad de información para contrastar más consistentemente las relaciones entre las variables (Hernández, 2009).

Se realiza un análisis gráfico de las series con el objetivo de obtener una información previa que sea de utilidad para el resto de metodologías aplicadas. Se observa la tendencia general y se calculan las funciones de autocorrelación simple (ACF) y parcial (ACFP), que son representadas a través de los correlogramas de la serie original de llamadas. Se calcula el periodograma, con extracción de media, por el método de suavizado de ventana de Tuckey-Hamming, para detectar los períodos de estacionalidad. Para la aplicación de la hipótesis aditiva o multiplicativa de componentes, se compara el coeficiente de variación de Pearson de los valores absolutos de la serie diferenciada una vez con el coeficiente de variación de Pearson de la serie resultante de aplicar el cociente de cada observación con la anterior. De resultar menor el primer coeficiente se aplica la hipótesis aditiva, en caso contrario se aplica la hipótesis multiplicativa (Casas, 1999).

En el gráfico 3.1 se resumen los modelos de series temporales aplicados:

Gráfico 3.1: Modelos de series temporales aplicados en un *call center*.



Fuente: Elaboración propia

3.2.1 Modelos clásicos de descomposición

La descomposición clásica es un método basado en el supuesto de que la serie de datos, Y_t , se puede desagregar en cuatro componentes (Cáceres et al, 2008):

- Tendencia, T_t : aquella que contiene un componente que representa el crecimiento o declinación de la serie.
- Estacionalidad, E_t : es un patrón de cambio a si mismo año tras año. Son movimientos de ascenso y descenso aproximadamente en las mismas épocas del año y de intensidad similar.
- Ciclo, C_t : es la fluctuación en forma de onda alrededor de la tendencia. Los movimientos cíclicos tienden a repetirse cada tres o más años. Es difícil establecer un modelo para estos patrones cíclicos, ya que no son estables.

- Irregular, I_t : es el factor residual, y representa las desviaciones de los valores reales de la serie de tiempo en comparación con los esperados, es el elemento aleatorio.

Estas cuatro componentes, en general, pueden actuar sumando cada una sus efectos o bien multiplicándose, así:

$$Y_t = T_t + E_t + C_t + I_t \quad (1)$$

$$Y_t = (T_t * E_t * C_t) + I_t \quad (2)$$

En este caso no es posible considerar la presencia de ciclo, dado que el número de años tomados no son suficientes para poder captar esta componente.

Aunque existen diversas estrategias para realizar la descomposición de las componentes, se aplican dos de las más habituales. La primera extrae la tendencia ajustando una función que minimice la suma de los cuadrados de los residuos, así la serie resultante de la extracción se modeliza aplicando análisis espectral, que es una técnica estadística usada para detectar componentes estacionales en series temporales (Jenkins y Watts, 1969). El objetivo es la identificación de los patrones que rigen las oscilaciones presentes, por lo que se utiliza un modelo consistente en considerar a la serie temporal como una combinación lineal de funciones sinusoidales de periodo conocido pero de amplitud y fase desconocidas (representación armónica). El análisis espectral consiste en estimar la amplitud y la fase de cada onda sinusoidal en la serie temporal analizada. En particular, la amplitud está relacionada con la varianza de la serie temporal, de modo que la varianza total se descompone en la varianza explicada por cada una de las ondas sinusoidales existentes. Cuando dicha varianza se representa frente a la frecuencia de los armónicos, se obtiene una representación gráfica conocida como densidad espectral. Existen diferentes técnicas para el análisis espectral de una serie temporal (Aguirre, 1994). En este trabajo se han estimado tres armónicos, el primero de ellos capta los 16 máximos presentes en la serie de residuos y los dos siguientes son 1/4 y 1/8 de la onda siguiente con objeto de captar la amplitud y fase. El modelo general a estimar para un armónico es el siguiente:

$$Y_t = \alpha + \sum_{j=1}^{T/2} A_j * \text{sen} (w_j t) + \sum_{j=1}^{T/2-1} B_j * \text{cos} (w_j t) \quad (3)$$

Siendo Y_t el valor que toma la variable en el momento t que se desea, α es una constante que representa el nivel de la serie, A_j y B_j son amplitudes y $W_j = 2\pi j/T$ siendo $j=1,2,\dots, T/2$. El modelo estimado de tres armónicos se muestra a continuación (donde A_j y B_j se sustituyen por β_j)

$$Y_t = \alpha + \beta_1 * \cos\left(\frac{2\pi}{N} * p * t\right) + \beta_2 * \text{sen}\left(\frac{2\pi}{N} * p * t\right) + \beta_3 * \cos\left(\frac{2\pi}{N} * p / 4 * t\right) + \beta_4 * \text{sen}\left(\frac{2\pi}{N} * p / 4 * t\right) + \beta_5 * \cos\left(\frac{2\pi}{N} * p / 32 * t\right) + \beta_6 * \text{sen}\left(\frac{2\pi}{N} * p / 32 * t\right) \quad (4)$$

Siendo Y_t el valor que toma la variable en el momento t que se desea, α , es una constante, β_i son los parámetros que se estiman por mínimos cuadrados ordinarios, N es el número de observaciones, p es el periodo, y t los valores ordenados de la variable tiempo para la ecuación.

Una segunda estrategia de descomposición (segundo modelo aplicado) consiste en desestacionalizar la serie original. Existen múltiples métodos, para una revisión de los más usuales puede consultarse Cáceres *et al* (2008). Uno de los de aplicación más extendida es el X-11 (*Census Method 1*), también conocido como método de la razón sobre la media móvil, es el implementado en este trabajo. La idea básica consiste en obtener unos valores, aplicando medias móviles y medias de periodo estacional que bien restados (hipótesis aditiva), bien divididos (hipótesis multiplicativa) de la serie original filtran las oscilaciones estacionales. La serie resultante contendría la tendencia, que se modeliza ajustando una función bien lineal, bien curvilínea, que minimice la suma de los cuadrados de los residuos. En este trabajo se han considerado dos ajustes:

$$Y_t = a + b_t + e_t \quad (5)$$

$$Y_t = a + b_t + c^2_t + e_t \quad (6)$$

Siendo Y_t el valor que toma la variable en el momento t que se desea, a una constante que representa la ordenada en el origen, b_t la pendiente de la recta, y c^2_t el valor del coeficiente de un polinomio de grado 2.

3.2.2 Modelo de alisado de Winters.

Entre los modelos de alisado (tercer modelo aplicado), que pueden ser usados tanto para captar tendencias como con fines predictivos, el modelo aditivo de triple parámetro de Winters es el más indicado, dado que contempla el ajuste de las componentes de tendencia y estacionalidad que pudieran estar presentes. Las ecuaciones del modelo son:

$$X_{n+1} = a_n + b_n + S_{n-p} \quad (7)$$

$$a_n = \alpha(X_n - S_{n-p}) + (1 - \alpha)(a_{n-1} + b_{n-1}) \quad \alpha (0,1)$$

$$b_n = \gamma(a_n - a_{n-1}) + (1 - \gamma)b_{n-1} \quad \gamma (0,1)$$

$$S_n = \delta(X_n - a_n) + (1 - \delta)S_{n-p} \quad \delta (0,1)$$

$$f_{n,h} = (a_n + hb_n) + S_{n+h-p}$$

En el que se estiman α , que representa el nivel o media de la serie, γ que representa la tendencia, y δ que representa la estacionalidad. X_n representa el valor que toma el número de llamadas recibidas en el momento n , a_n es el valor que corresponde al nivel o media de la serie, b_n el valor tomado por influencia de la tendencia, S_n el valor tomado por influencia de la estacionalidad, y p el número de periodos tomados.

La idea de estos modelos es captar la influencia de estos tres factores, α media o nivel de la serie, γ tendencia, y δ estacionalidad en la serie a lo largo del tiempo. Los valores de estos coeficientes oscilan entre 0 y 1. Valores próximos a 0 implican que se han tomado en consideración los valores de la variable con igual ponderación, y valores próximos a 1 significan un mayor peso de los últimos valores de la variable. Por tanto, valores cercanos a cero indican una mayor estabilidad en cada componente y valores cercanos a 1 indican cambios recientes que quedan incorporados a las predicciones futuras.

3.2.3 Modelos econométricos.

En el ámbito de los modelos econométricos, los modelos ARIMA se basan en la noción de procesos estocásticos. Estos procesos representan la medición del valor de una variable aleatoria en momentos de tiempo determinados, en los que el tiempo es una variable aleatoria más. En general es la medición de dos o más variables aleatorias, considerando las llamadas registradas en SIEPES cada mes como una muestra particular del valor real a estimar. Ello implica que se pueda aplicar la teoría de probabilidad a los valores obtenidos.

De otro lado, los experimentos aleatorios se caracterizan por tener una media y varianza constante en el tiempo, además de ser sucesos independientes, lo que se conoce como un proceso estacionario, siendo estas últimas características las que hacen posible aplicar la metodología estadística atemporal al dominio temporal.

Para aplicar ARIMA es necesario que la serie sea estacionaria, a efectos prácticos, si la varianza no es constante se aplica una transformación logarítmica de los datos, también puede aplicarse la transformación de Box-Cox (Aguirre, 1994). Si la serie presenta un patrón estacional, ha de aplicarse una diferenciación estacional, es decir, restar los valores de la serie original con los correspondientes a los meses del año anterior. Si después de las dos transformaciones, la serie aún presenta dependencia de los valores anteriores ha de aplicarse una diferenciación regular, o lo que es lo mismo, restar a cada valor el inmediato anterior. Cuando la serie de observaciones presenta tendencia lineal, una diferenciación suele ser suficiente, si presenta una tendencia cuadrática, es posible que sean necesarias dos diferenciaciones. En este trabajo se aplica el test de raíces unitarias de Dickey-Fuller aumentado para detectar los órdenes de diferenciación necesarios que proporcionen estacionariedad a la serie (Pérez, 2006).

Una vez que la serie ha sido estabilizada (estacionaria en sentido débil –media y varianza constantes-) se puede representar a través de los correlogramas que el valor de la serie depende de los inmediatos anteriores, eso constituye un proceso autorregresivo (AR). Si además el valor de la serie depende de los errores contenidos en los valores anteriores (valor estimado menos valor real) se trata de un proceso de medias móviles (MA). Formalmente un proceso autorregresivo puede expresarse como:

$$y_t = \delta + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (8)$$

siendo Y_t la serie, ε_t es un proceso de ruido blanco, δ es la constante del modelo y los parámetros $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ son los llamados parámetros autorregresivos. Un modelo de medias móviles puede expresarse como:

$$y_t = \delta + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (9)$$

donde ε_t es ruido blanco, δ es la constante del modelo y $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ son los llamados parámetros de media móvil.

Un modelo ARIMA(p,d,q) es la conjunción de un modelo autorregresivo, uno de medias móviles, y los órdenes de integración necesarios para hacer estacionario el modelo. Se puede generalizar esta forma para modelos con estacionalidad, cuya notación sería ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s, donde la segunda parte representa los procesos autorregresivos estacional, media móvil estacional, y diferenciación estacional. En resumen, un modelo

completo indica la dependencia de los valores de las variables de los valores inmediatamente anteriores y remotamente anteriores (parte estacional), así como de los errores observados de los valores anteriores y remotamente anteriores (parte estacional). No todos los modelos contienen todos los procesos, pero a efectos de notación, cuando no existe alguno de los procesos se indica cero donde corresponda.

Según la metodología Box-Jenkins (1970) la identificación se realiza observando las funciones de autocorrelación simple y parcial (ACF y ACFP). En general, si la primera es significativa para los primeros retardos puede tratarse de un proceso de medias móviles, y si lo es la función de autocorrelación parcial, es posible que sea un proceso autorregresivo. El análisis de intervención se realiza detectando puntos atípicos y tomando como variable *dummy* (ficticia) los meses de julio y agosto, que representan el efecto de incremento de población en vacaciones.

Adicionalmente se estima un modelo ARIMA con función de transferencia (conocido también como regresión dinámica, modelo ARIMAX, ...) (Peña, 2010). Se toman como variables exógenas la serie de casos declarados de gripe, el número de pernотaciones y la población (número de habitantes), sin retardos, puesto que el efecto es inmediato sobre las llamadas de los meses de diciembre y enero, en la primera variable, y en los meses de julio y agosto para la segunda variable. Se aplica el test de causalidad de Granger al objeto de identificar la aportación explicativa de cada variable y el sentido de la dependencia (Pérez, 2006), y posteriormente se preblanquean las series exógenas (*input*)²³ y se analizan las funciones de correlación cruzada de los residuos de las series para determinar los retardos y órdenes de numerador y denominador.

Por otro lado, entre los métodos econométricos igualmente, el enfoque estructural o causal aplicado en este trabajo parte de la hipótesis de que el número de llamadas recibidas depende de tres variables exógenas, la primera es el volumen de población, considerando que las tasas de incidencia y prevalencia de los procesos asistenciales habituales no han cambiado a lo largo del tiempo. La segunda variable representa la mayor afluencia de habitantes en los meses estivales, que debe repercutir en atender más llamadas, dado el incremento estacional de población, y que se aproxima por las pernотaciones en la provincia de Málaga. La tercera variable representa el incremento de llamadas en los meses de diciembre y enero por las líneas telefónicas de urgencias, que se operativiza por el número de casos declarados de gripe. Posteriormente se estima un modelo de regresión múltiple por el método *stepwise*, cuyos residuos se modelizan con tres armónicos, al objeto de eliminar los efectos estacionales (Cáceres *et al*, 2008).

²³ La técnica de preblanqueo de series se aplica para evitar problemas del hecho de que la correlación entre dos variables esté afectada por la autocorrelación existente entre las series *input* y *output* y por la no estacionariedad, dándose así correlaciones cruzadas significativas, aunque en realidad sean espúreas o no verdaderas (Box y Jenkins, 1970).

Capítulo 3.- Pronóstico de demanda de llamadas de emergencias sanitarias del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

En el Tabla 3.2 se expone un esquema de las técnicas y test estadísticos aplicados:

Tabla 3.2: Test y pruebas realizadas a los modelos de pronóstico de llamadas del call center de emergencias sanitarias.

MODELOS	TENDENCIA	ESTACIONALIDAD	PRUEBAS GENERALES					PRUEBAS ESPECIFICAS	PARSIMONIA	BONDAD
			Test Residuos			Significación Parámetros				
			Normalidad	Heterocedasticidad	Independencia	Individual	Conjunta			
ANALISIS GENERALES	Ajuste funciones lineal y cuadrático	Correlogramas (ACF y ACFP). Periodograma suavizado de ventana de Tuckey-Hamming. Función de densidad espectral								
ARMONICO MULTIPLICATIVO	Ajuste mínimo cuadrático ordinario	Transformada rápida de Fourier con tres armónicos: 16 máximos y 1/4 y 1/8 de cada onda	Shapiro-Wilks	White	Ljung-Box	t	F	Criterio BIC	R ² estacionaria, RMSE, MAPE, MAXAPE	
METODO X-11	Indicadores generales de variación estacional por método X-11	t				F				
ALISADO DE WINTERS	Ajuste de nivel, tendencia y estacionalidad: ecuaciones de Winters									
ARIMA INTERVENCIÓN	Método Box-Jenkins con Análisis de intervención					t	F			Estacionariedad: Test de Dickey-Fuller aumentado
ARIMAX	Método Box-Jenkins con Análisis de intervención y Función de transferencia mediante preblanqueo					t	F			Estacionariedad: Test de Dickey-Fuller aumentado Causalidad: Test de Granger
ESTRUCTURAL ARMONICO	Regresión múltiple stepwise	Transformada rápida de Fourier con tres armónicos	Jarque-Bera		Ljung-Box, Durbin-Watson, Breusch-Godfrey	t	F	Multicolinealidad: Factor de inflación de la varianza, Índice de condición y Test de Farrar-Glauber. Estabilidad Estructural: Test de Chow y Test CUSUM. Adecuación especificación funcional: Test RESET de Ramsey. Exogeneidad: Contraste de Hausman		

La aplicación de la hipótesis aditiva o multiplicativa de componentes se realiza calculando el coeficiente de variación de Person aplicando de las transformaciones habituales sobre las series

Fuente: Elaboración propia

Para todos los modelos se realizan las pruebas de significación de parámetros individual (estadístico t) y conjunta (estadístico F). El análisis de residuos se centra en que sigan un proceso de ruido blanco, es decir, media cero, varianza constante (homocedasticidad), ausencia de correlación, y seguimiento de una distribución normal. La prueba de normalidad se realiza por adherencia al test de Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilks y en ocasiones el test de Jarque-Bera. Para la comprobación de homocedasticidad se realiza el test de White y se observa el gráfico de residuos. Para la ausencia de autocorrelación se analizan las ACF y ACFP de los residuales así como el estadístico Q de Ljung-Box, añadiéndose las pruebas del estadístico Durbin-Watson (DW) y el test de Breusch-Godfrey en el caso del modelo estructural. En el enfoque estructural, el diagnóstico de multicolinealidad se realiza por medio del Índice de Condición, del factor de influencia de la varianza (FIV), y el test de Farrar Glauber. La comprobación de la estabilidad estructural del modelo se analiza aplicando el test de Chow (dividiendo el periodo de estimación en dos partes iguales), y el test CUSUM. Se aplica el test RESET de Ramsey para contrastar la especificación de la forma funcional del modelo estructural.

$$R^2 = 0.397$$

Capítulo 3.- Pronóstico de demanda de llamadas de emergencias sanitarias del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

Finalmente, la prueba de exogeneidad de las variables independientes se realiza mediante el contraste de Hausman.

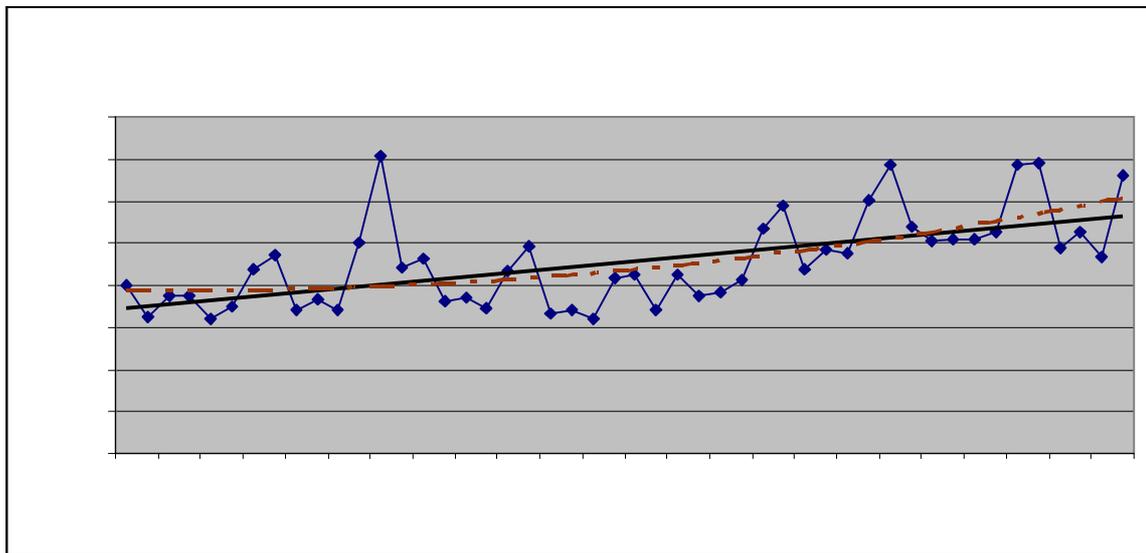
La comparación de modelos se ha realizado mediante la R^2 estacionaria, la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE), el error absoluto porcentual medio (MAPE) que debe ser inferior al 5% para alinear los pronósticos con los objetivos presupuestarios, el MaxAPE (máximo del error absoluto porcentual medio) y el criterio BIC (*Bayesian Information Criteria*) normalizado.

En los contrastes de hipótesis se ha considerado un nivel de significación de 0,05 e intervalos de confianza (IC) al 95%. El análisis se ha efectuado con los paquetes estadísticos SPSS v.18 y Eviews v.5.1.

3.3.- RESULTADOS Y COMPARACIÓN DE MODELOS

El gráfico 3.2 presenta la serie de llamadas recibidas en el centro de coordinación del servicio provincial de Málaga de EPES entre 2004 y 2007 (en Anexo VII se presentan los gráficos de las series originales de Llamadas recibidas, casos declarados de gripe, número de pernoctaciones y número de habitantes).

Gráfico 3.2: Llamadas recibidas en el call center de emergencias del Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en el período 2004-2007.



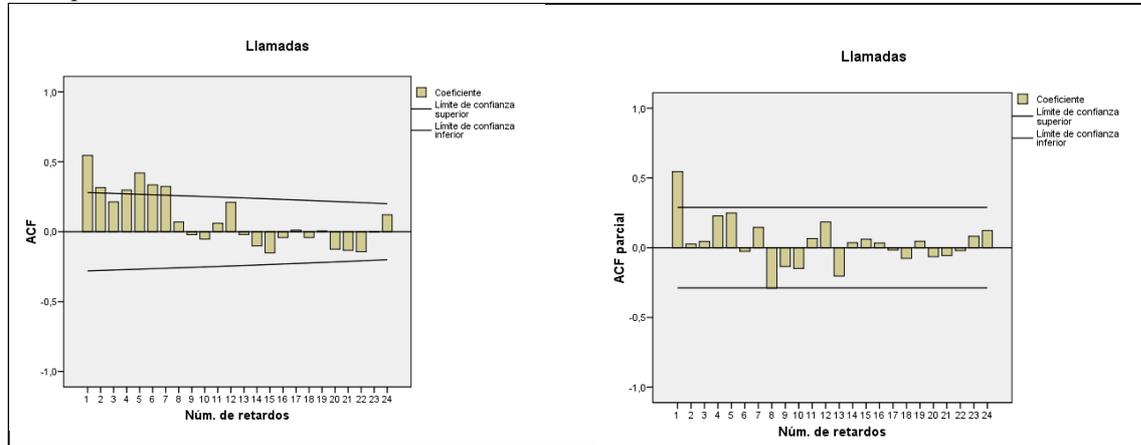
Trazo continuo: ajuste lineal. Trazo discontinuo: ajuste cuadrático
Fuente: Elaboración Propia

Las llamadas presentan una tendencia creciente y estacionalidad. Se observan picos ascendentes en los meses de diciembre y enero de cada año, así como en julio y agosto. Los ajustes que presentan mejores resultados son el lineal (trazo continuo del gráfico) y cuadrático (trazo discontinuo). Los R^2 son meramente indicativos de la existencia de tendencia en la serie, sus valores no son muy altos debido al efecto estacional. El crecimiento en el año 2007, muy superior al resto de años, ha podido ser algo atípico, por ello se considera un incremento lineal para el futuro, además se han graficado las series de promedios móviles con extrapolación de un año, indicando una tendencia más bien lineal.

Capítulo 3.- Pronóstico de demanda de llamadas de emergencias sanitarias del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

El gráfico 3.3 presenta los correlogramas de la serie original de llamadas, es decir, las funciones de autocorrelación simple (ACF) y parcial (ACFP).

Gráfico 3.3: Correlogramas de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el período 2004-2007.

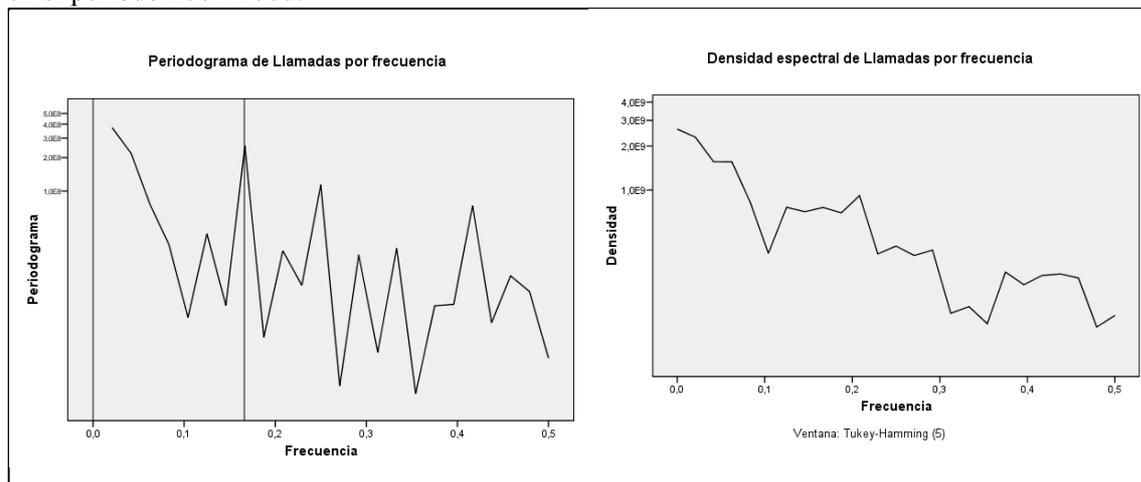


Fuente: Elaboración Propia

Se identifica una estructura de dependencia de valores próximos con decrecimiento para valores lejanos. La ACF es significativa hasta el séptimo retardo, y la ACFP en el primer y octavo retardo.

En el gráfico 3.4 se presenta el periodograma de la serie, calculado con extracción de media, por el método de suavizado de ventana de Tuckey-Hamming para detectar los períodos de estacionalidad.

Gráfico 3.4: Periodogramas de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el período 2004-2007.



Fuente: Elaboración Propia

El pico más destacable sugiere una estacionalidad semestral ($1/0.16$), que es corroborado por el diagrama de densidad espectral. Sin embargo, puede ser que realmente se produzca una doble componente estacional, de un lado el efecto gripe y de otro el efecto estival (julio y agosto). Por tanto, se considera estacionalidad mensual, además, la función de densidad espectral muestra el mayor rango de explicación de la variabilidad en el intervalo de frecuencias 0,1 a 0,2, estando 0,1 muy cerca de una componente estacional de periodo mensual.

Para todos los modelos las estimaciones de los parámetros de los modelos han sido significativas ($p < 0,05$) y los errores pueden considerarse ruido blanco.

3.3.1.- Modelos clásicos de descomposición.

En el primer modelo (Armónico multiplicativo) al aplicar el método de descomposición mediante minimización de la suma de los cuadrados de los residuos y análisis espectral basado en la Transformada Rápida de Fourier, el coeficiente de variación de Pearson ha sido inferior para la hipótesis multiplicativa de componentes, por lo que para los dos modelos de descomposición clásica se toma como referencia la mencionada hipótesis. Se han realizado pruebas para la hipótesis aditiva con peores resultados.

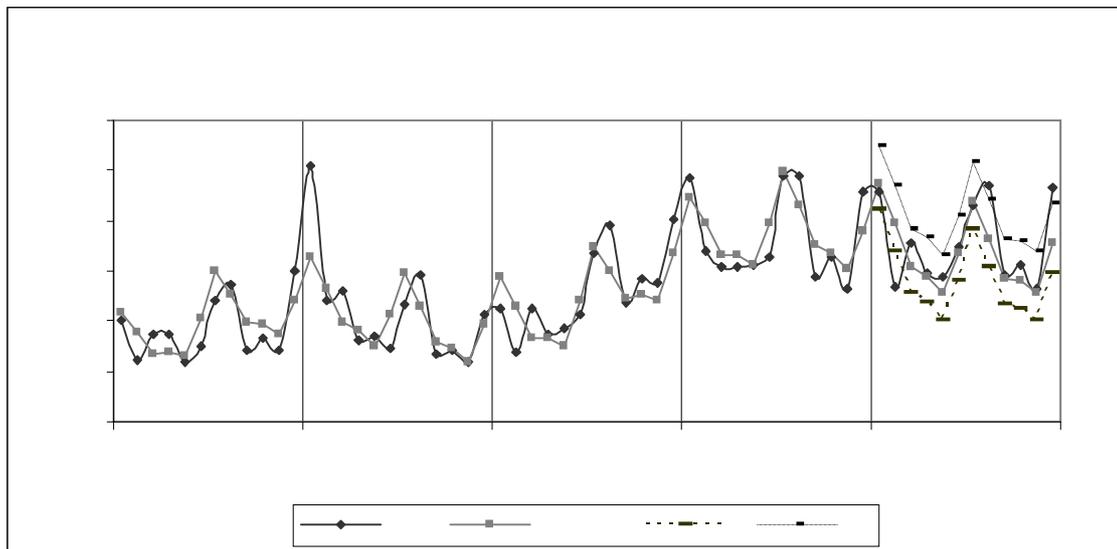
Las ecuaciones estimadas para el primer modelo en tendencia y estacionalidad son respectivamente:

$$Y_t = 37.312,19 + 232,32 * t + e_t \quad e_t = Y_t' \quad (10)$$

$$Y_t' = 0,99 - 0,015 * \cos\left(\frac{2\pi}{48} * 16 * t\right) + 0,29 * \sin\left(\frac{2\pi}{48} * 16 * t\right) + 0,023 * \cos\left(\frac{2\pi}{48} * 4 * t\right) + 0,081 * \sin\left(\frac{2\pi}{48} * 4 * t\right) - 0,019 * \cos\left(\frac{2\pi}{48} * 0,5 * t\right) + 0,066 * \sin\left(\frac{2\pi}{48} * 0,5 * t\right) \quad (11)$$

En el gráfico 3.5 se presenta el modelo ajustado y la evolución del número de llamadas reales.

Gráfico 3.5: Ajuste de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el periodo 2004-2007 mediante minimización de la suma de los cuadrados de los residuos y análisis espectral basado en la Transformada Rápida de Fourier



LI: límite inferior, LS: límite superior
Fuente: Elaboración Propia

Se destaca que el valor de enero de 2005 no ha sido captado adecuadamente, sin embargo en el periodo de validación de 2008 la línea de ajuste se mantiene cercana a los valores reales. El número total de llamadas previstas es un 2% menor que las reales. Los meses de febrero (-14,23%), agosto (9,79%) y diciembre (10,64%) son los de peor predicción. En

Capítulo 3.- Pronóstico de demanda de llamadas de emergencias sanitarias del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

agosto y diciembre se sobrepasa el límite superior del intervalo de predicción por muy poco, asimismo en febrero no se alcanza el límite inferior.

A continuación se aplica el segundo modelo, que incorpora el Método X-11 de desestacionalización para descomponer la serie. La tendencia es parecida a la identificada en el modelo anterior. Analíticamente:

$$Y_t = 36.833,45 + 245,07 * t \quad (12)$$

En la Tabla 3.3 se exponen los índices de variación estacional mensual.

Tabla 3.3: Índices de variación estacional de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el período 2004-2007 mediante el modelo Método X-11 de desestacionalización.

Mes	Índice de variación estacional
ene	1,15
feb	0,98
mar	1,01
abr	0,94
may	0,94
jun	0,96
jul	1,05
ago	1,11
sep	0,93
oct	0,94
nov	0,91
dic	1,08

Fuente: Elaboración Propia

Estos índices son mayores que uno en los meses de enero, marzo, julio, agosto y diciembre.

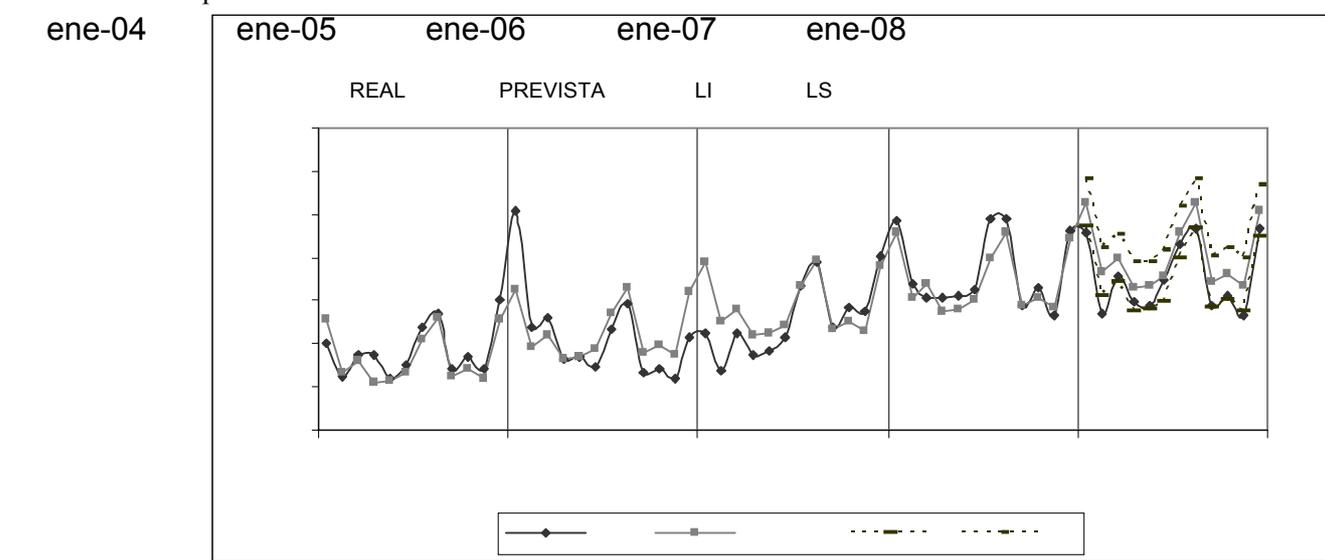
odelo	Estimación	ET	t	Sig.
amdas recibidas	.707	.142	4.996	.000
5,000	9.44E-006	.024	.000	1.000
0,000	.001	.329	.903	.998

odelo Sin transformación
 Alpha (Nivel)
 Gamma (Tendencia)
 Delta (Estación)

Capítulo 3.- Pronóstico de demanda de llamadas de emergencias sanitarias del call center del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

En el gráfico 3.6 se presenta el modelo ajustado y la evolución del número de llamadas reales.

Gráfico 3.6: Ajuste de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el periodo 2004-2007 mediante el modelo Método X-11 de desestacionalización



LI: límite inferior, LS: límite superior
 Fuente: Elaboración Propia

Se destaca que el valor de enero de 2005 no ha sido captado adecuadamente, así como desde septiembre 2005 hasta marzo 2006 cuando la previsión es algo superior a las observaciones reales. En el periodo de validación de 2008 la línea de valores observados se mantiene cercana al límite inferior de los intervalos de confianza calculados, lo que indica que el modelo alertaría de un posible cambio, hecho observado en 2008, ya que las llamadas han sido inferiores a 2007 en un 1,24%. El número total de llamadas previstas es un 5% mayor que las reales. Los meses de febrero (-11,11%) y noviembre (-8,16%) son los de peor predicción.

3.3.2.- Modelo de alisado de Winters.

En tercer lugar se aplica el método de descomposición con alisado aditivo de triple parámetro de Winters. En la tabla 3.4 se muestran las estimaciones de los coeficientes.

Tabla 3.4: Parámetros en la estimación de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el periodo 2004-2007 mediante el método de descomposición con alisado aditivo de triple parámetro de Winters

Fuente: Elaboración Propia

La componente de nivel (alpha = 0,707) es más cercana a la unidad que a cero, por tanto el modelo pondera más los últimos valores de la variable y dado que en 2007 se produjo

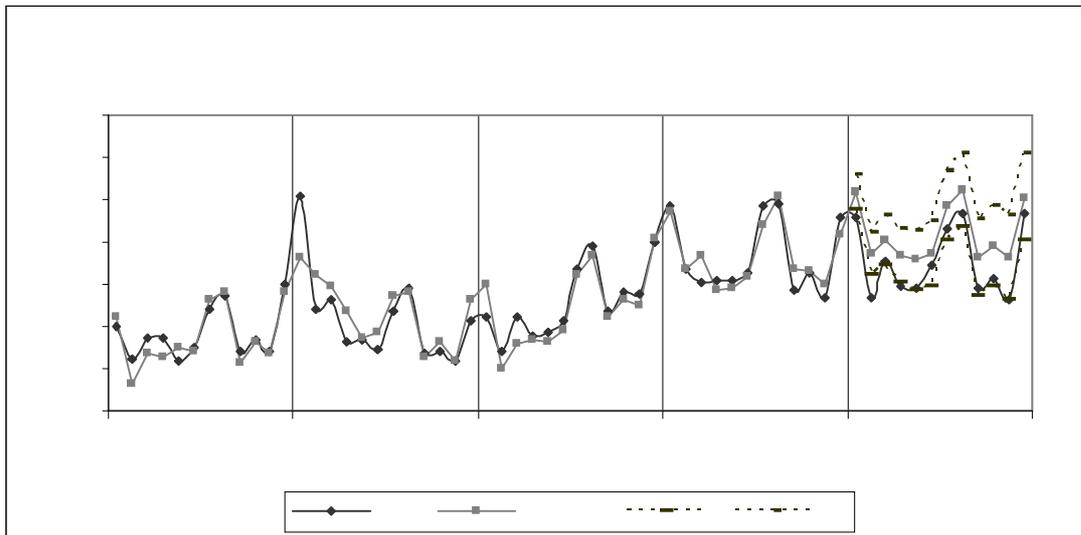
5,000
3,000
5,000
3,000
5,000
3,000

ene-04 ene-05 ene-06 ene-07 ene-08

un fuerte incremento de llamadas, las previsiones elevarán el nivel medio. Para la componente tendencial ($\gamma = 9,44 \cdot 10^{-6}$), el valor cercano a cero indica que toma en consideración igual ponderación para todas las observaciones, es decir, parece seguir una tendencia creciente estable. La componente estacional ($\delta = 0,001$) también está cercana a cero, lo que indica una menor tendencia por ello la ponderación de las variables será muy parecida, aunque en menor medida que la mencionada tendencia. En otras palabras, la estacionalidad parece seguir un patrón estable a través del tiempo, y la no significación de los parámetros tendencia y estacionalidad no puede interpretarse aquí como en un análisis de regresión lineal, puesto que sus valores oscilan entre 0 y 1, y no es una prueba aplicable a este tipo de modelos.

En el gráfico 3.7 se presenta el modelo ajustado y la evolución del número de llamadas reales.

Gráfico 3.7: Estimación de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el período 2004-2007 mediante el método de descomposición con alisado aditivo de triple parámetro de Winters



LI: límite inferior, LS: límite superior
Fuente: Elaboración Propia

Se destaca que el valor de enero de 2005 no ha sido captado adecuadamente, sin embargo desde mediados de 2006 hasta final de 2007 el modelo se ajusta bastante bien. En el periodo de validación de 2008 la línea de valores observados en el primer semestre se mantiene un poco por debajo del límite inferior de los intervalos de confianza calculados, lo que indica que el modelo alertaría de un posible cambio. El número total de llamadas previstas es un 7% mayor que las reales. En todos los meses la predicción ha sido superior al valor observado, observándose que los meses de febrero (-11,86%) y noviembre (-11,34%) son los de peor predicción.

3.3.3.- Modelos econométricos.

El cuarto modelo que se presenta es el método econométrico ARIMA con análisis de intervención, consistente en la detección de puntos atípicos. Se ha probado con una variable *dummy* para la época vacacional (julio y agosto de cada año) pero el regresor estimado no ha resultado significativo. Se han tomado dos órdenes de diferenciación en base a la tendencia cuadrática observada y el valor del test de raíces unitarias de Dickey-

			Estimación	ET	t	Sig.
Llamadas	Log natural	AR				
		Retardo 1	-1.021	.136	-7.488	.000
		Retardo 2	-.611	.135	-4.509	.000

Capítulo 3.- Pronóstico de demanda de llamadas de emergencias sanitarias del call center del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

Valores atípicos

Fuller aumentado ($p < 0,05$) que se presenta en el Anexo VIII. El modelo más adecuado es un SARIMA(2,2,0)(0,1,0) sin constante y transformación logarítmica de la variable llamadas recibidas. Las estimaciones de los parámetros se presentan en la tabla 3.5.

Tabla 3.5: Parámetros en la estimación de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el período 2004-2007 mediante el método econométrico ARIMA con los meses estivales como análisis de intervención

	Estimación	ET	t	Sig.
May 2005 Innovador	203	643	4.698	.000
Ene 2006 Aditivo	-185	993	-0.185	.000
Mar 2006 Cambio de nivel	122	5.001	0.122	.000

Fuente: Elaboración Propia

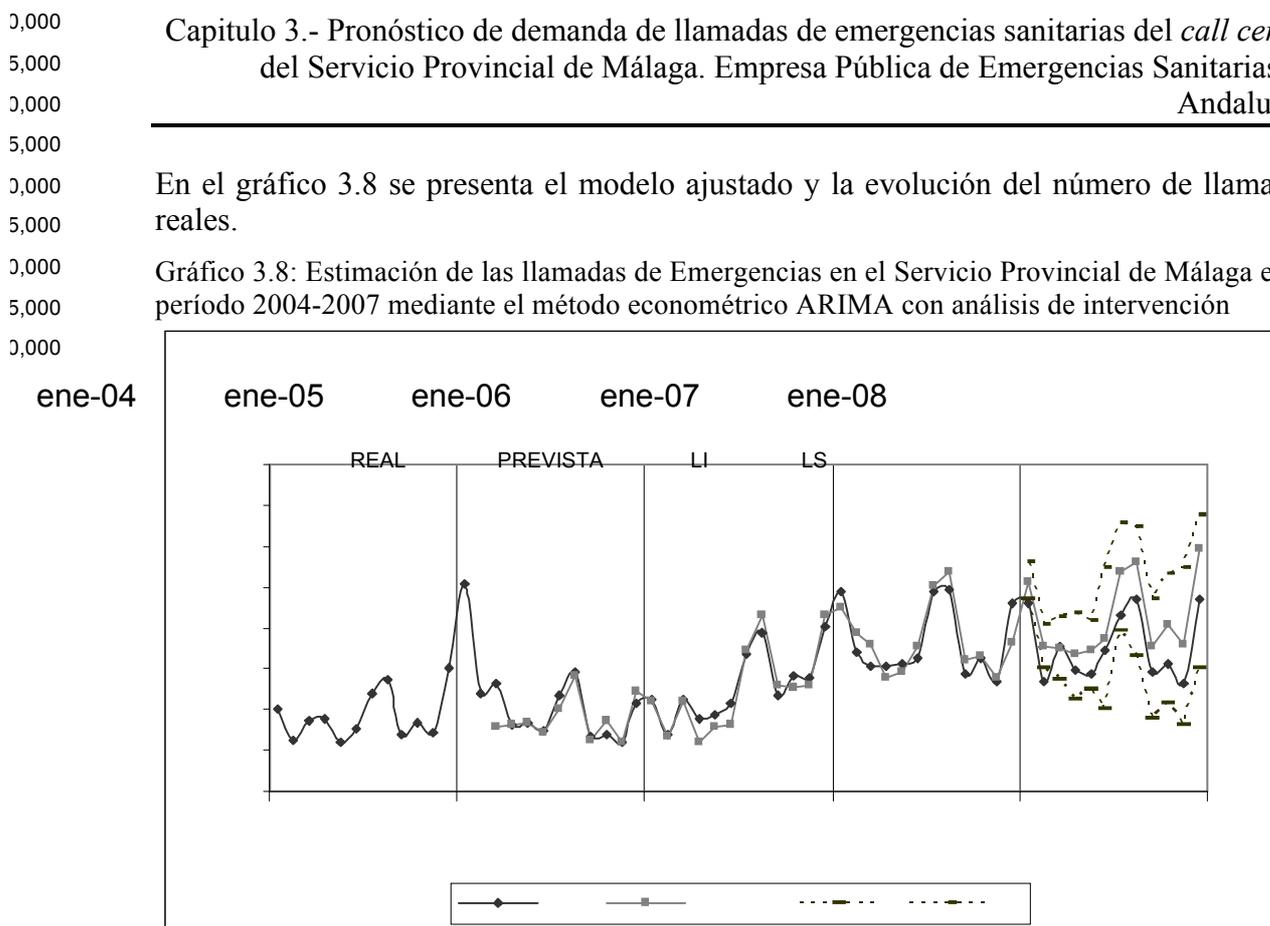
La ecuación resultante (Llamadas=LL) es:

$$(1+1,021B+0,611B^2)\nabla^2\nabla_{12} \ln(LL)_t = a_t + 0,203\nabla^2\nabla_{12}I_{2005.5} - 0,185\nabla^2\nabla_{12}I_{2006.1} + 0,122\nabla^2\nabla_{12}E_{2006.3} \quad (13)$$

Las estimaciones se muestran significativas para todos los términos. Mayo 2005 supone un incremento en el nivel de la serie que afecta a los valores posteriores cercanos y luego decae. Enero 2006 es un valor inferior a la media del mismo periodo de años posteriores. A partir de Marzo 2006 se produce un aumento sostenido en el nivel o media de la serie.

En el gráfico 3.8 se presenta el modelo ajustado y la evolución del número de llamadas reales.

Gráfico 3.8: Estimación de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el período 2004-2007 mediante el método econométrico ARIMA con análisis de intervención



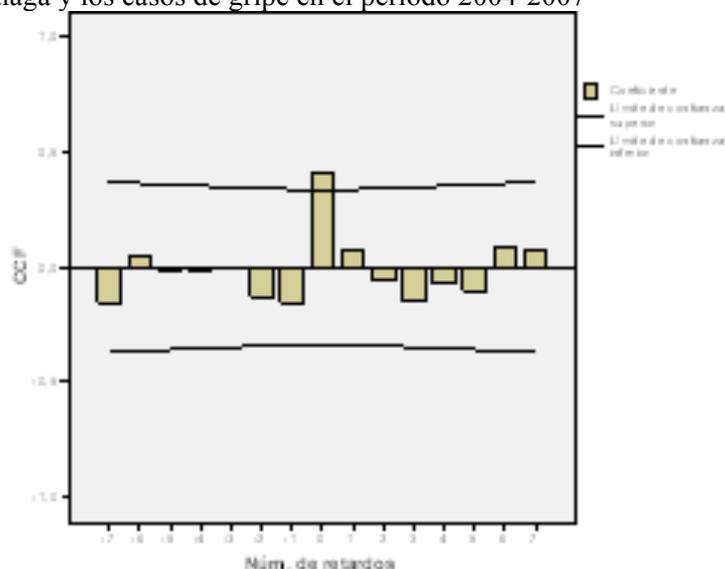
LI: límite inferior, LS: límite superior
Fuente: Elaboración Propia

Se destaca que para el periodo de estimación los valores se ajustan adecuadamente, presentando unos intervalos de confianza poco variables. En el periodo de validación de 2008 la línea de los valores observados se mantiene entre los límites de los intervalos de confianza calculados, sin embargo los valores previstos superan a los valores reales. Los correlogramas de los residuos no muestran valores significativos de autocorrelación y el estadístico Q de Ljung-Box es significativo ($p < 0,05$). Los tests de adherencia de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilks muestran que los residuos siguen una distribución normal. El número total de llamadas previstas es un 7,21% mayor que las reales. En todos los meses, a excepción de marzo, la predicción ha sido superior al valor observado. A final de año (diciembre -11,94%, noviembre -10,92%, octubre, -10,22%) y en julio (-10,19%) se predice peor.

El quinto modelo que se presenta es el ARIMA con función de transferencia (ARIMAX). El preblanqueo de las series *input* (gripe, pernотaciones y población) se inicia con la identificación y estimación de los modelos ARIMA que resultaron un $(0,0,1)(1,1,0)_{12}$ sin constante y con transformación logarítmica para la serie de casos de gripe, un $(3,0,0)(0,1,0)_{12}$ con constante para la serie de número de pernотaciones, y un $(1,0,0)(0,1,0)$ con constante para la serie de población. Posteriormente, a la serie de número de llamadas se le aplica cada uno de los filtros anteriores y sobre los residuos se calculan las funciones de correlación cruzada. Entre los residuos de las series de número de pernотaciones y de llamadas no existe correlación cruzada significativa, al igual que con la serie de población.

En el gráfico 3.9 se muestra la correlación cruzada significativa entre las llamadas y los casos de gripe para el retardo 0.

Gráfico 3.9: Correlación cruzada para retardo 0 entre las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga y los casos de gripe en el período 2004-2007



Fuente: Elaboración Propia

El test de causalidad de Granger, para 12 retardos, identificó una causalidad unidireccional de la variable Gripe sobre la de llamadas recibidas, y no identificó causalidad con población y pernoctaciones (Anexo VIII), lo que corrobora los resultados iniciales del preblanqueo de las series.

El modelo resultante es un ARIMAX estacional $(2,2,0)(0,1,0)_{12}$ sin constante y transformación logarítmica de la variable llamadas con análisis de intervención de puntos atípicos (Mayo 2005). Sobre la variable exógena gripe se realiza una transformación logarítmica y una diferenciación regular, resultando la transferencia con numerador regular para los retardos 0 y 1, y numerador estacional para el primer retardo. Es decir, las llamadas recibidas se incrementan por los casos notificados de gripe en el mes anterior y el actual, así como por los casos notificados en el mismo mes del año anterior. Las estimaciones de los parámetros (tabla 3.6) se muestran significativas para todos los términos. Mayo 2005 supone un incremento en el nivel de la serie que afecta a los valores posteriores cercanos y luego decae.

Tabla 3.6: Parámetros en la estimación de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el período 2004-2007 mediante el método econométrico ARIMA con la gripe como función de transferencia

	Estimación	ET	t	Sig.
Llamadas Log natural AR	-1.015	.141	-7.195	.000
Diferencia Retardo 1				
Diferencia Retardo 2	-.586	.141	-4.144	.000
Diferencia Retardo 3				
Diferencia Retardo 4				
Diferencia Retardo 5				
Diferencia Retardo 6				
Diferencia Retardo 7				
Diferencia Retardo 8				
Diferencia Retardo 9				
Diferencia Retardo 10				
Diferencia Retardo 11				
Diferencia Retardo 12				
Diferencia Retardo 13				
Diferencia Retardo 14				
Diferencia Retardo 15				
Diferencia Retardo 16				
Diferencia Retardo 17				
Diferencia Retardo 18				
Diferencia Retardo 19				
Diferencia Retardo 20				
Diferencia Retardo 21				
Diferencia Retardo 22				
Diferencia Retardo 23				
Diferencia Retardo 24				
Diferencia Retardo 25				
Diferencia Retardo 26				
Diferencia Retardo 27				
Diferencia Retardo 28				
Diferencia Retardo 29				
Diferencia Retardo 30				
Diferencia Retardo 31				
Diferencia Retardo 32				
Diferencia Retardo 33				
Diferencia Retardo 34				
Diferencia Retardo 35				
Diferencia Retardo 36				
Diferencia Retardo 37				
Diferencia Retardo 38				
Diferencia Retardo 39				
Diferencia Retardo 40				
Diferencia Retardo 41				
Diferencia Retardo 42				
Diferencia Retardo 43				
Diferencia Retardo 44				
Diferencia Retardo 45				
Diferencia Retardo 46				
Diferencia Retardo 47				
Diferencia Retardo 48				
Diferencia Retardo 49				
Diferencia Retardo 50				
Diferencia Retardo 51				
Diferencia Retardo 52				
Diferencia Retardo 53				
Diferencia Retardo 54				
Diferencia Retardo 55				
Diferencia Retardo 56				
Diferencia Retardo 57				
Diferencia Retardo 58				
Diferencia Retardo 59				
Diferencia Retardo 60				
Diferencia Retardo 61				
Diferencia Retardo 62				
Diferencia Retardo 63				
Diferencia Retardo 64				
Diferencia Retardo 65				
Diferencia Retardo 66				
Diferencia Retardo 67				
Diferencia Retardo 68				
Diferencia Retardo 69				
Diferencia Retardo 70				
Diferencia Retardo 71				
Diferencia Retardo 72				
Diferencia Retardo 73				
Diferencia Retardo 74				
Diferencia Retardo 75				
Diferencia Retardo 76				
Diferencia Retardo 77				
Diferencia Retardo 78				
Diferencia Retardo 79				
Diferencia Retardo 80				
Diferencia Retardo 81				
Diferencia Retardo 82				
Diferencia Retardo 83				
Diferencia Retardo 84				
Diferencia Retardo 85				
Diferencia Retardo 86				
Diferencia Retardo 87				
Diferencia Retardo 88				
Diferencia Retardo 89				
Diferencia Retardo 90				
Diferencia Retardo 91				
Diferencia Retardo 92				
Diferencia Retardo 93				
Diferencia Retardo 94				
Diferencia Retardo 95				
Diferencia Retardo 96				
Diferencia Retardo 97				
Diferencia Retardo 98				
Diferencia Retardo 99				
Diferencia Retardo 100				

Capítulo 3.- Estimación de la demanda de llamadas de emergencias sanitarias del call center del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

Valores atípicos					
May 2005	Innovador	Estimación	ET	t	Sig.
		.201	.047	4.235	.000
ene-04	ene-05	ene-06	ene-07	ene-08	
	REAL	PREVISTA	LI	LS	

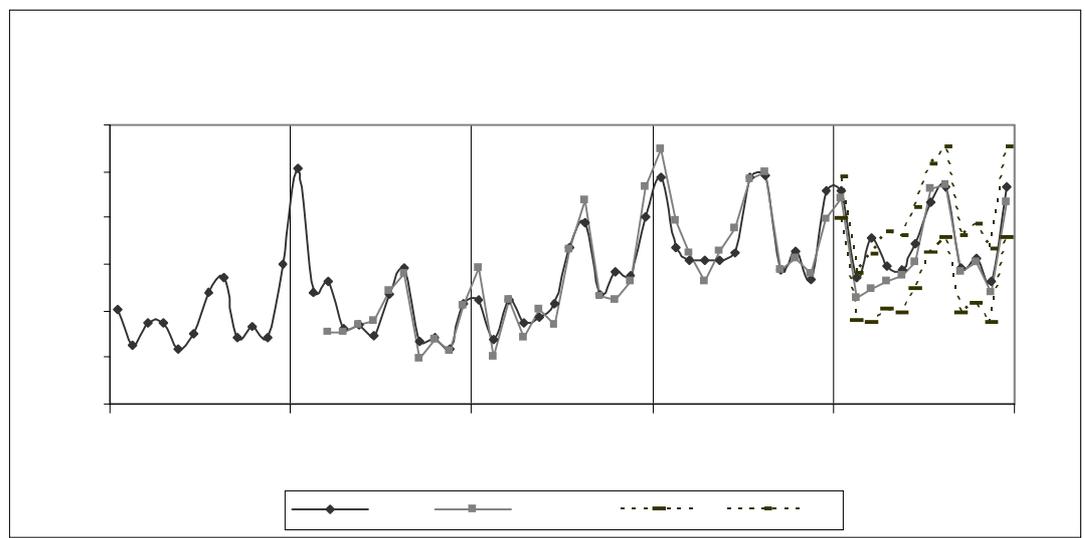
Fuente: Elaboración Propia

La ecuación resultante (Llamadas=LL y Gripe=GR) es:

$$(1+1,015B+0,586B^2)\nabla^2\nabla_{12}\ln(LL)_t = a_t + (-0,66-0,66B-1,358B^{12}\nabla\ln(GR)_t) + 0,201\nabla^2\nabla_{12}I_{2005.5} \quad (14)$$

En el gráfico 3.10 se presenta el modelo ajustado y la evolución del número de llamadas reales.

Gráfico 3.10: Estimación de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el periodo 2004-2007 mediante el método econométrico ARIMA con la gripe como función de transferencia



LI: límite inferior, LS: límite superior
Fuente: Elaboración Propia

Se destaca que para el periodo de estimación los valores se ajustan adecuadamente. En el periodo de validación de 2008 la línea de los valores observados se mantiene entre los límites de los intervalos de confianza calculados, sin embargo los valores previstos no superan a los valores reales.

Los correlogramas de los residuos no muestran valores significativos de autocorrelación y el estadístico Q de Ljung-Box es significativo ($p < 0,05$). El test de adherencia de Shapiro-Wilks muestra que los residuos siguen una distribución normal. El número total de llamadas previstas es un 2,62% menos que las reales. En todos los meses, a excepción de julio, los valores previstos son inferiores a los reales, lo que indica que los casos de gripe influyen a la baja en las estimaciones. El peor mes para predecir es, en este caso, marzo (11,38%).

El último modelo que se presenta es la aproximación estructural (Estructural Armónico), sobre el que se modelan los residuos con tres armónicos similares al modelo inicial expuesto. Por tanto, se aplica el procedimiento de descomposición clásica conjugado con un enfoque estructural que explique la evolución de las llamadas en función de la población, casos de gripe, y número de pernотaciones. Puede entenderse como un modelo de espacio de estados, en el que el vector de causas (las tres variables exógenas) determinan el movimiento general de la serie, y la estacionalidad se modela aplicando análisis espectral. De los resultados de la regresión lineal múltiple, por el método *stepwise*, se destacan los siguientes aspectos:

- Se ha encontrado alta correlación entre las variables ($R=0,78$), la bondad del ajuste arroja un R^2 corregido de 0,60. Indica, por tanto, que el modelo explica el 60% de la variabilidad del número de llamadas recibidas. Ello implica que un cuarenta por ciento estaría explicado por los errores y otras variables distintas.
- Las variables independientes son importantes en su poder explicativo, el estadístico t es significativo ($p < 0,05$) para cada una de ellas. El estadístico F es significativo ($p < 0,01$), lo que indica que el modelo en su conjunto es adecuado. No existen problemas de multicolinealidad, (el índice de condición es 12,79, FIV muy inferior a 10), la matriz de correlaciones muestra valores inferiores a 0,85 entre las variables exógenas. Las pruebas de estabilidad del modelo del test de Chow, CUSUM, y RESET indican que no se produce cambio estructural significativo en el periodo de estimación, presentando una correcta forma funcional lineal. El contraste de Hausman indica la ausencia de endogeneidad de las variables independientes con la explicada.
- En cuanto a la especificación del modelo (Anexo IX) se puede afirmar que existe independencia residual de primer orden (el estadístico Durbin-Watson es cercano a 2) y hasta orden 12, dados los resultados del test de Breusch-Godfrey ($p < 0,05$). Se cumplen la simetría y normalidad, el test de Jarque-Bera ($p < 0,05$) lo corrobora, y los residuos son homocedásticos como indica el test de White ($p < 0,05$). En general, los resultados del modelo son aceptables. La ecuación resultante es:

$$\text{Llamadas} = -59.869,6 + 0,67 * \text{Población} + 0,822 * \text{Gripe} + 0,099 * \text{Pernотaciones} \quad (17)$$

A pesar de los resultados del modelo, en el gráfico de residuos se observa un comportamiento estacional que no queda captado satisfactoriamente. Por lo que se procede al ajuste de esta componente. La ecuación estimada es la siguiente:

$$Y_t = -507,95 - 138,22 * \cos\left(\frac{2\pi}{48} * 16 * t\right) + 749,65 * \text{sen}\left(\frac{2\pi}{48} * 16 * t\right) + 1.347,02 * \cos\left(\frac{2\pi}{48} * 4 * t\right) + 1.822,56 * \text{sen}\left(\frac{2\pi}{48} * 4 * t\right) + 198,41 * \cos\left(\frac{2\pi}{48} * 0,5 * t\right) + 2.420,90 * \text{sen}\left(\frac{2\pi}{48} * 0,5 * t\right) \quad (18)$$

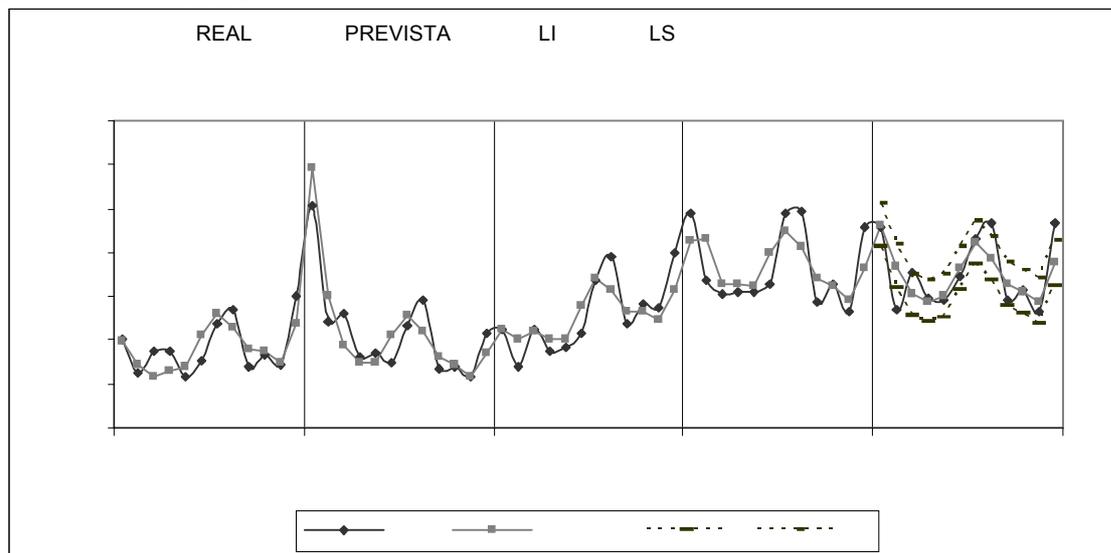
Capítulo 3.- Pronóstico de demanda de llamadas de emergencias sanitarias del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

En el gráfico 3.11 se presenta el modelo ajustado y la evolución del número de llamadas reales.

Gráfico 3.11: Estimación de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el período 2004-2007 mediante el método econométrico estructural teniendo en cuenta población, pernoctaciones y gripe

5,000
3,000
5,000
3,000
5,000
3,000

ene-04 ene-05 ene-06 ene-07 ene-08



LI: límite inferior, LS: límite superior
Fuente: Elaboración Propia

Se destaca que el valor de enero de 2005 se ha captado adecuadamente, coincidiendo con un acmé de epidemia de gripe, sin embargo desde mediados de 2005 hasta final de 2007 el modelo no consigue un grado de ajuste similar. En el periodo de validación de 2008 la línea de los valores observados se mantiene dentro de los límites de los intervalos de confianza calculados, a excepción de febrero, marzo, agosto y diciembre. Los correlogramas de los residuos se muestran muy cercanos a los límites de significación en el retardo 6. El test de adherencia de Shapiro-Wilks muestra que los residuos siguen una distribución normal. El número total de llamadas previstas es un 0,5% menor que las reales. El mes de febrero (-11,27%) es el de peor predicción. En los meses restantes se producen pequeños errores.

3.3.4 Modelo de proyección enfocada de EPES

Finalmente se describe el procedimiento habitual que se sigue en la empresa para pronosticar las llamadas del año siguiente. Podría denominarse un método de proyección enfocada, en el que tomando como referencia la tendencia observada en los años anteriores e incorporando juicios cualitativos del mantenimiento y/o modificaciones de las hipótesis de oferta de servicios de atención telefónica, se obtiene un porcentaje de crecimiento. La distribución mensual se realiza en base a las proporciones observadas históricamente de participación de cada mes en el total de llamadas. A modo de ejemplo, de 2004 a 2006 las llamadas crecieron en torno al 4,5% y en 2007 el 13%, por lo que se podría decidir que para 2008 debieran aumentarse en un 6%, tomando en consideración que 2007 fue atípico y parecía que con el transcurso del tiempo la población demandaba más servicio. Las llamadas en 2007 fueron 579.871, por lo que el pronóstico para 2008 sería aproximadamente de 614.663 llamadas.

Capítulo 3.- Pronóstico de demanda de llamadas de emergencias sanitarias del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

En tabla 3.7 se observa como en todos los meses se producen menos llamadas que las pronosticadas. El error anual asciende al 7,33%, la RMSE es de 3.631,17, el MAPE del 7,40% y el MaxAPE del 11,33%.

Tabla 3.7: Estimación de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el período 2004-2007 mediante el método habitual de proyección enfocada

periodo	real	prevista	variación	% variación
01/2008	52.986	57.169	-4.183	-7,9%
02/2008	43.484	48.410	-4.926	-11,3%
03/2008	47.831	50.341	-2.510	-5,2%
04/2008	44.852	48.169	-3.317	-7,4%
05/2008	44.473	47.580	-3.107	-7,0%
06/2008	47.282	48.420	-1.138	-2,4%
07/2008	51.603	55.289	-3.686	-7,1%
08/2008	53.404	57.481	-4.077	-7,6%
09/2008	44.515	47.841	-3.326	-7,5%
10/2008	45.642	49.629	-3.987	-8,7%
11/2008	43.237	47.862	-4.625	-10,7%
12/2008	53.365	56.472	-3.107	-5,8%
total	572.674	614.663	-41.989	-7,3%

RMSE	3.631,2
MAPE	7,4%
MAXAPE	-11,3%

Fuente: Elaboración Propia.

3.3.5 Comparación de Modelos

La comparación sintética de modelos, que incluye bondad del ajuste y capacidad predictiva, se expone en la tabla 3.8 para las fases de estimación y validación respectivamente.

Capítulo 3.- Pronóstico de demanda de llamadas de emergencias sanitarias del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

Tabla 3.8: Estimación de las llamadas de Emergencias en el Servicio Provincial de Málaga en el período 2004-2007 mediante modelos de series temporales.

comparación modelos						
Estadísticos	Armónico Multiplicativo	X-11 Desestaciona-lizado	Alisado de Winter	ARIMA Intervención (2,2,0)(0,1,0) ₁₂	ARIMAX (2,2,0)(0,1,0) ₁₂	Estructural Armónico
R ² Estacionaria	0,73	0,73	0,73	0,84	0,83	0,73
RMSE	2.633,47	2.709,37	2.058,76	1.988,46	2.128,89	2.393,98
MAPE	4,85%	4,59%	3,51%	3,06%	3,21%	4,41%
MaxAPE	16,40%	20,18%	12,82%	12,22%	12,76%	9,95%
BIC normalizado			15,5	15,71	15,94	
Ljung-Box	Independencia	Independencia	Independencia	Independencia	Independencia	Independencia
valores en período de validación (2008)						
Estadísticos	Armónico Multiplicativo	X-11 Desestaciona-lizado	Alisado de Winter	ARIMA Intervención (2,2,0)(0,1,0) ₁₂	ARIMAX (2,2,0)(0,1,0) ₁₂	Estructural Armónico
R ² Estacionaria	0,72	0,74	0,7	0,48	0,84	0,74
RMSE	3.039,17	2.673,34	3.403,00	3.643,39	2.024,78	2.503,27
MAPE	4,38%	5,22%	6,93%	6,94%	3,19%	3,79%
MaxAPE	14,23%	11,11%	11,86%	11,94%	11,38%	11,27%
BIC normalizado			16,17	16,94	15,48	
Error estimación anual	1,95%	-5,14%	-6,77%	-7,21%	2,62%	0,51%

RMSE: error cuadrático medio, MAPE: error absoluto porcentual medio, MaxAPE: máximo del error absoluto porcentual medio, BIC: *Bayesian Information Criteria*.

Fuente: Elaboración Propia.

En la fase de estimación, el modelo de menor error (RMSE) ha resultado ser el ARIMA con intervención (1.988,46), seguido del ajuste de Winters, el ARIMAX, el estructural, el armónico multiplicativo y el modelo de descomposición clásico. Se destaca que el estructural obtiene el menor recorrido entre el MAPE y MaxAPE. En la fase de validación, el ARIMA con intervención es el de peor ajuste (3.643,39), seguido del ajuste de Winters, el armónico multiplicativo, descomposición clásica, estructural, y finalmente el ARIMAX. Los modelos basados en la historia pasada (ARIMA, Winters, Descomposición) obtienen valores previstos mayores que los observados, dado el crecimiento sistemático anual observado de 2004 a 2007. Aunque los resultados en el periodo de validación empeoran en términos de capacidad predictiva, se muestra la utilidad de estos modelos para detectar cambios de comportamiento de la variable, lo que permitiría tomar las medidas oportunas. El modelo armónico parte de la misma tendencia que los modelos de series de tiempo, sin embargo la influencia de la componente estacional va decreciendo con el transcurso de los años (el pico de Enero 2005 no tiene un efecto importante sobre el pronóstico de periodos posteriores), por lo que la estimación fue algo por debajo de lo observado (1,95%). Los modelos que incluyen alguna variable exógena obtienen unos resultados en términos de RMSE intermedios entre los expuestos, no obstante mejoran en el periodo de validación y sus errores en estimación anual se sitúan en el 2,62% (ARIMAX) y el 0,51% (Estructural), además de obtener mejores resultados en RMSE. El modelo ARIMAX presenta mejores resultados, la influencia histórica de la serie junto con el descenso de los casos notificados por gripe han pronosticado un descenso de llamadas que ha resultado ser incluso mayor que el

observado para las recibidas. Además todos los modelos presentan resultados superiores que el método de proyección enfocada aplicado habitualmente en la Empresa.

3.4 CONCLUSIONES

Este capítulo evalúa la utilización conjunta de 6 métodos de series temporales, desarrollados con *software* estándar, para mejorar el pronóstico de la demanda de emergencias sanitarias. Algunos de los resultados coinciden con la evidencia empírica disponible. Por un lado, una mayor complejidad no va asociada necesariamente a mejoras del pronóstico (Taylor, 2008), y por otro, confirma la importancia de incorporar variables exógenas para mejorar los resultados (Taylor, 2008; Peña, 2005).

Existe variabilidad en los pronósticos de los modelos, aunque todos cumplen con la exigencia de un MAPE inferior al 5%; el modelo X-11, alisado de Winters y ARIMA con intervención, predicen mayor número de llamadas que las observadas, mientras que el armónico multiplicativo, ARIMAX y estructural armónico predicen menos. Los primeros son útiles como modelos de alerta ante comportamientos no habituales y los segundos, proporcionan un mayor conocimiento explicativo de las variaciones de la demanda. Por ejemplo, el modelo ARIMAX establece una asociación significativa entre las llamadas y los casos notificados de gripe, no encontrando sin embargo relación con la población y las pernoctaciones, posiblemente debido al componente autorregresivo, que captura la evolución en el mismo sentido de estas dos variables. Los resultados obtenidos en el modelo estructural armónico ponen de manifiesto la mayor propensión a llamar a centros de emergencias de las personas afectadas por gripe y la menor de la población que pernocta. Aunque una dificultad añadida de estos dos modelos consiste en la necesaria estimación a su vez de los valores previstos de las variables exógenas para el año siguiente.

El enfoque empleado permite la inclusión de otras variables exógenas (nivel de polución, tasas de accidentes de tráfico, tasa de incidencia de enfermedades cardiovasculares, temperatura ambiental, etc.) que podrían aumentar el poder explicativo del modelo estructural armónico, y ARIMAX. Carracedo *et al* (2008) encuentran relación entre niveles de polen e incremento de llamadas al servicio 061 de Galicia con retardos semanales, aunque no es un estudio longitudinal de varios años.

La visión conjunta de los modelos ofrece un rango de estimación anual de llamadas al servicio de emergencias para 2008, desde 557.672 hasta 613.960, siendo las reales 572.674. Este hecho enriquece la información al contemplar escenarios con posibles descensos, hecho constatado en 2008, lo que permite planificar cursos de acción alternativos de los recursos y establecer pronósticos que incorporen el conocimiento de modelos cuantitativos alternativos, además superan tanto en cuantificación como en conocimiento del fenómeno al método de proyección enfocada.

Las líneas futuras de investigación abren un amplio abanico de posibilidades, así dos extensiones posibles con los pronósticos calculados pueden ser, en primer lugar, la aplicación de algún método *top-down* (Taylor, 2008) para la asignación de llamadas a intervalos mensuales y por franjas horarias, que sería un complemento adecuado a los modelos de colas del capítulo 4, que se basan en estados estacionarios por meses y franjas horarias. En segundo lugar, se pueden aplicar métodos de combinación de los pronósticos

de los modelos al objeto de obtener resultados más precisos, aprovechando las mejores características de cada uno de ellos. Asimismo, una alternativa que podría mejorar las previsiones, es el pronóstico de las llamadas recibidas por tipo de línea (061, 112, urgencias, transporte, y otras), para poder contar con información más detallada. También sería interesante explorar la complementariedad de los pronósticos de llamadas perdidas del capítulo 2 con los actuales de llamadas recibidas, para determinar el número de llamadas atendidas, es decir, la demanda satisfecha.

En cuanto a la aplicación de otras metodologías para el pronóstico mensual de las llamadas recibidas, sería interesante la estimación de modelos de vectores autorregresivos (VAR), dada la flexibilidad que permiten al no ser necesario especificar una forma funcional inicial ni basarse en relaciones teóricas a priori (Pérez, 2006). Los modelos de cointegración, con los datos actuales, son de difícil implementación, dado que los órdenes de integración de las series (para hacerlas estacionarias) son distintos, pero la evolución a la baja de llamadas en 2008 conduciría a su posible consideración, de este modo, sería posible estimar las relaciones estables a largo plazo entre las variables (Pérez, 2006). La aplicación de los filtros de Hodrick-Prescott, y de Kalman podría considerarse, en la medida que se disponga de una serie con más observaciones (Cáceres *et al*, 2008). Para finalizar, existen múltiples trabajos de previsión basados en redes neuronales artificiales (RNA) que ofrecen resultados prometedores, aún reconociendo su posible aportación, plantean la dificultad de medición de muchas variables y la selección para la fase de entrenamiento (Martín, 2003), así como problemas de sobreparametrización.

La aplicación de otras metodologías para pronósticos de llamadas en intervalos más pequeños de tiempo sugiere que un abordaje muy útil en la planificación diaria de llamadas recibidas es el pronóstico en intervalos de una hora o inferiores, para ello podrían aplicarse modelos ARFIMA, que permiten un orden de integración fraccionado y por tanto poseen “memoria larga”, así como modelos SETAR y GARCH (Peña, 2005). También pueden ser de aplicación modelos con splines cúbicas para detectar estacionalidades mensuales, semanales, diarias y horarias. Martín (2008) analiza la estacionalidad de la demanda intradiaria de un servicio de urgencias hospitalario. En series financieras se ha implementado la hipótesis fractal y teoría del caos²⁴ (Doldán, 2007), que permite obtener tanto relaciones a corto plazo (series diarias o inferiores en tiempo) como a medio y largo plazo (meses, años). Estas series poseen características parecidas a un camino aleatorio y movimiento browniano, pero también poseen una

²⁴ El Caos es una propiedad de muchos sistemas dinámicos no lineales cuyo concepto fundamental es determinar si es o no posible pronosticar el futuro de tales sistemas a partir de los datos actuales y con qué exactitud. La teoría del caos es la ciencia del proceso, el intento del conocimiento de lo que va a suceder, no de lo que es o de lo que permanecerá. Con ella lo desconocido se interpreta desde un punto de vista global, dejando de considerarlo desde el punto de vista del orden. Se interesa por lo aleatorio, lo complejo, los saltos súbitos de estado a partir de las bifurcaciones, intermitencias, complejidades y autoorganización. Incluye en su estudio la dimensión fraccional (fractal) que se refiere a la dependencia existente entre la cuantía de una medida y la escala utilizada para obtenerla. Este concepto es aplicable también al tiempo, en el que coexisten determinismo, aleatoriedad, orden y caos. Para medir la memoria de una serie temporal puede aplicarse el movimiento browniano, similar al movimiento errático de una partícula suspendida en un fluido que se resume con la fórmula $R=T^{1/2}$ donde R es la distancia recorrida por la partícula y T el tiempo invertido en el recorrido. Esta fórmula expresa la anualización de valores observados en determinados períodos de tiempo. El valor del exponente es 0,5 (1/2), sin embargo es posible probar con otros valores del exponente que capten mejor las oscilaciones de las series de datos, por lo que la formulación de la hipótesis fractal incluye el movimiento browniano como caso particular de otros movimientos de la serie temporal, que para datos de alta frecuencia es una alternativa muy interesante dados posibles comportamientos regulares por minutos, horas, días, semanas, meses y años.

estructura de oscilaciones que reaccionan ante cambios externos. Por ello sería plausible su aplicación a las series de llamadas de un *call-center*.

Este trabajo presenta la limitación de extrapolación de resultados a otras zonas geográficas que pudieran verse más afectadas por las variables exógenas mencionadas anteriormente. Sin embargo, la aplicación de los modelos presentados es adecuada y recomendable para cualquier centro de llamadas de emergencias sanitarias.

En conclusión, la utilización conjunta de los distintos métodos de análisis genera sinergias en el conocimiento de los escenarios de demanda de emergencias sanitarias, contribuyendo a una mayor eficiencia en la planificación a corto plazo de los recursos humanos disponibles, reduciendo costes y mejorando la calidad simultáneamente. Su desarrollo mediante *software* estándar, disminuye los costes de aprendizaje y aplicación de forma estable y periódica en los centros de emergencias.

**CAPITULO 4: PLANIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES DE PERSONAL DEL
CALL CENTER DEL SERVICIO PROVINCIAL DE MÁLAGA. EMPRESA
PÚBLICA DE EMERGENCIAS SANITARIAS DE ANDALUCÍA.**

“Quien dispone de un martillo como única herramienta tratará cualquier cosa como si fuera un clavo”

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Como se indicaba en el capítulo introductorio, la carga de trabajo se determina atendiendo a los tiempos de asistencia y volumen de demanda (número de llamadas recibidas). Este capítulo se centra en el análisis y comportamiento de estas dos variables en intervalos de tiempo de una hora, al objeto de explorar el dimensionamiento necesario de acuerdo a los niveles de servicio que se desean ofrecer, siendo posible plantearlo desde dos perspectivas. La primera es analizar el comportamiento con datos empíricos de llamadas recibidas reales y tiempos de atención o servicio observados. La segunda perspectiva con fines de pronóstico requiere de una previsión de llamadas a recibir y de tiempos a emplear. Para ambas perspectivas, la aplicación de los modelos analíticos al dimensionamiento de los *call center* requiere de la misma información primaria, ya sean magnitudes reales o previstas, y resulta de vital importancia a la hora de tomar decisiones de asignación de recursos, en especial los humanos, que representan aproximadamente el 70% de los gastos de explotación (Channouf *et al*, 2007), tanto para analizar la situación actual como con fines prospectivos.

Tradicionalmente se han utilizado modelos que presuponen un proceso de Poisson o cola Markoviana, en el que el número de llamadas por hora sigue una distribución de probabilidad de Poisson y los tiempos de servicio siguen una distribución de probabilidad Exponencial (Channouf *et al*, 2007; Matteson *et al*, 2011; Cleveland *et al*, 1997). Algunos autores han argumentado que para centros de llamadas de emergencias y para otros servicios de atención telefónica no siempre se cumplen las condiciones de aplicación, tanto desde el punto de vista teórico (Henderson, 2005), como empírico (Brown *et al*, 2005; Ausín, 2003; Gans *et al*, 2003) y proponen modelos alternativos y de simulación (Barber y González López-Valcárcel, 1994; L'Ecuyer, 2006; Llorente *et al*, 2001; Rodríguez *et al*, 2008; Wu *et al*, 2009). Una perspectiva adicional que suele emplearse en el análisis de las medidas de rendimiento de sistemas de colas en los que la prestación de servicio se realiza secuencialmente, es decir, que las operaciones son atendidas por diversos servidores o puestos de atención, es el estudio de redes de colas. Entre ellas, las redes de Jackson son las apropiadas cuando el número de eventos que llega a cada servidor por intervalo de tiempo sigue una distribución de probabilidad de Poisson (llamadas recibidas, escuchas, y llamadas emitidas, por hora en este capítulo) y los tiempos de servicio de esos eventos siguen una distribución de probabilidad Exponencial (Hillier y Lieberman, 2006).

En cualquier caso, para la elección del modelo deberían verificarse los supuestos de partida, esto es, analizar las regularidades en los procesos de llegadas de llamadas y tiempos de servicio para determinar la gama de modelos óptima. Así, de acuerdo a los periodos que quieran estudiarse se han de explorar las adherencias del proceso de llegadas de llamadas y sus tiempos de atención a determinadas funciones de probabilidad y escoger el modelo que mejor represente la dinámica de operaciones.

El objetivo de este capítulo es presentar de una manera integral la identificación de estados estacionarios, las fases de estudio del comportamiento de la afluencia de llamadas (volumen de demanda) y tiempos de atención, aplicación de modelo compatible, y extensión a una red de colas acíclica de Jackson que permita evaluar comparativamente la robustez de los resultados de carga de trabajo y cuellos de botella en el marco de un

equilibrio de nivel de calidad de servicio y aprovechamiento de los recursos (régimen QED –*Quality Efficiency Driven*-) enunciado por Borst *et al* (2004), en un centro atención de llamadas de emergencias de Málaga. Se utilizará *software* comercializado que permita al decisor conocer las necesidades de personal y los efectos que se producirían ante cambios en la operativa de funcionamiento.

El capítulo se estructura exponiendo una introducción a la teoría de colas, posteriormente se desarrolla la metodología de identificación de estados estacionarios, para a continuación describir los modelos Erlang C, Erlang A y Red de Jackson en el epígrafe siguiente. Se finaliza con la presentación de los resultados obtenidos y las conclusiones más relevantes.

4.1 INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DE COLAS

La teoría de colas es una disciplina encuadrada en la investigación de operaciones especialmente desarrollada por el área de conocimiento de la Ingeniería de Teletráfico para los casos del cálculo de necesidades de personal (*Staffing*) en el funcionamiento operativo de centros de atención de llamadas, cuyo estudio se centra en la descripción y determinación de soluciones de los fenómenos de congestión, es decir, aquellas situaciones en las que algún cliente ha de ser atendido y es posible que para ello deba esperar a que el servidor esté disponible, o de otro modo, el estudio de la espera. Los clientes pueden ser personas o materiales, y a su vez los servidores pueden ser personas o no. En el caso de estudio los clientes son todos aquellos que desean contactar telefónicamente con EPES para ser atendidos, y los servidores son los teleoperadores, médicos coordinadores y los operadores de radio. La teoría de colas representa la realidad a través de modelos matemáticos, que reflejan el desempeño del sistema en estudio, aportando soluciones manejables en estado estacionario, es decir, cuando ocurre que el sistema funciona de la forma descrita siempre por igual, y aunque se ha estudiado el comportamiento de las colas en estado transitorio su formulación es realmente compleja. Para salvar esta limitación, en este capítulo, se han realizado cálculos para distintos escenarios que vienen a representar los estados en diversas franjas horarias, ya que como se expuso en el capítulo 1 la afluencia de llamadas es muy distinta para cada hora del día y mes.

La teoría de colas es especialmente aplicable a situaciones en las que se dan una serie de operaciones que pueden diferir de un cliente a otro, y con tiempos diferentes (Hillier y Lieberman, 2006; Taha, 1999; Anderson *et al*, 2001). Según Cleveland (1997) para programar las necesidades de personal en un centro de llamadas no es válido el uso de tasas medias de carga de trabajo; así, si se supone que un operador puede atender 20 llamadas por hora, no se puede concluir que son necesarios 5 operadores para una tasa de entrada de 100 llamadas por hora ya que se perderían llamadas, dado que la atención no es demorable, y afirma que en general, trabajos con tiempo de respuesta inferiores a 24 horas requieren el uso de modelos que tengan en cuenta la aleatoriedad en las demandas de servicio, razón por la que recomienda el uso de la teoría de colas.

Para analizar el sistema de colas se han de caracterizar una serie de comportamientos, que determinan el modelo a utilizar, y que en este caso serían:

1. Fuente de entrada: es la población que puede solicitar los servicios. Aunque en Málaga pueda decirse que el acceso es de un número finito de personas, cuando éste es grande y la llegada de uno no afecta la llegada de otros, suele suponerse infinito

(este supuesto simplifica los cálculos en los modelos de colas). Otra característica a estudiar es si la llegada de clientes sigue algún patrón estadístico. Para el caso se comprobará (en un apartado posterior) que las llegadas se asemejan a una distribución estadística de Poisson y a una normal. También se ha contrastado la hipótesis de adherencia a una distribución de Poisson para el flujo de demanda hacia las llamadas emitidas, salientes (trabajo posterior a la llamada recibida) y para las escuchas que se solicita que realice el médico coordinador.

2. Cola: para el caso de EPES se ha supuesto una única cola infinita, aunque el número de líneas de entrada contratadas es de 32 (ver capítulo 1). Se ha analizado algún supuesto con cola finita, y los resultados del sistema han sido similares a los obtenidos con cola infinita.
3. Disciplina de la cola: se refiere al orden en que son atendidos los clientes. La mayoría de modelos supone que el primero en llegar es el primero en ser atendido (FIFO). Para este caso, se sabe que existen prioridades según el tipo de línea. También es necesario distinguir si un cliente es interrumpido cuando llega otro de mayor prioridad. En EPES no es habitual interrumpir el servicio, y además las medidas de desempeño del sistema en promedio se mantienen si la distribución de los tiempos de servicio es exponencial (este caso) (Hillier y Lieberman, 2006), aunque existen diferencias entre grupos, según la prioridad. Dado que los tiempos de respuesta no difieren mucho, a excepción de la línea 112, y no son especialmente elevados, se ha obviado un análisis pormenorizado por clientes basado en prioridades.
4. Mecanismo de servicio: consiste en describir y determinar el número de servidores para atender las demandas de servicio, ya sea en un tipo de estación, o en varias en las que secuencialmente es atendido el cliente. Este último caso es conocido como redes de colas. En EPES, como se ha descrito, el cliente es atendido por el teleoperador, que en su caso pasa escucha al médico coordinador, y una vez atendido, si es apropiado, se dan las órdenes al operador de radio para movilización de recursos y seguimiento del caso. Asimismo, como el cliente no se mantiene en el sistema cuando actúa el operador de radio, se ha establecido como otro tipo de servidor secuencial, es decir, se ha optado por estudiar tres tipos de colas diferenciados, aunque necesariamente han de observarse conjuntamente para la determinación de recursos necesarios en el centro de atención de llamadas. No obstante en un apartado posterior se plantea una red de colas de los tres tipos de servidores, bajo ciertas suposiciones, al objeto de refinar las cargas de trabajo derivadas de las interrelaciones entre los servidores.

La información más habitual que proporcionan los modelos de teoría de colas, como medidas de rendimiento y desempeño del sistema, es:

- Tasa de entrada por unidad de tiempo (horas en EPES): λ
- Tasa de servicio por unidad de tiempo (horas en EPES): μ
- Grado de ocupación del sistema: en porcentaje. $s = n^\circ$ de servidores ; $\rho = \frac{\lambda}{\mu s}$
- Número medio de clientes en el sistema (en cola y siendo atendidos): L
- Número medio de clientes en cola: L_q
- Tiempo medio consumido por el cliente en el sistema (colas y atención): W
- Tiempo medio consumido por el cliente en la cola: W_q
- Probabilidad que los servidores no estén ocupados: P_0

- Probabilidad de que un cliente tenga que esperar cuando llegue: P_w o P_b
- Tasa de llamadas perdidas (en algunos modelos)
- Nivel de servicio: atender un determinado porcentaje de llamadas en menos de “X” segundos.

En cuanto al significado de las siglas del modelo, se sigue la notación de Kendall²⁵, que se resume para un modelo básico A/B/C/K como sigue:

- A: designa la función de probabilidad de las llegadas al sistema. Cuando es una “M” significa que sigue una distribución markoviana, normalmente Poisson. Cuando se designa como “D” es que la tasa de entradas es un valor determinístico. Para el caso que aparezca “GI” significa que sigue una distribución cualquiera, general independiente.
- B: designa la función de probabilidad del tiempo de servicio. Cuando es una “M” significa que sigue una distribución markoviana, normalmente Exponencial. Cuando se designa como “D” es que la tasa de servicio es un valor determinístico. Para el caso que aparezca “G” significa que sigue una distribución cualquiera, general.
- C: designa el número de servidores.
- K: designa la capacidad máxima de la cola, cuando esta es finita.

Una vez descritas las características del sistema, es necesario identificar los estados estacionarios y analizar el comportamiento de llamadas y tiempos, con comprobación de adherencia a alguna distribución conocida, para poder aplicar la gama de modelos apropiada.

4.2 IDENTIFICACIÓN DE ESTADOS ESTACIONARIOS

La aplicación de los modelos de teoría de colas requiere que las condiciones en el periodo de análisis sean estables, es decir, que el número de llamadas recibidas y los tiempos de atención posean unas características de adherencia a una distribución de probabilidad con parámetros iguales en ese periodo. En el capítulo 1 se observó un comportamiento no homogéneo de llamadas recibidas, existiendo franjas con poca afluencia de llamadas y otras con mayor demanda, lo que podría indicar la presencia de un proceso no homogéneo de Poisson. Para probar esta hipótesis y determinar un conjunto de franjas que cumplan con los dos objetivos propuestos (estado estacionario, y relevante para la gestión operativa y presupuestaria) se aplican secuencialmente el test de homogeneidad de Kruskal-Wallis, análisis discriminante, y el test de Kolmogorov-Smirnov. El primer test permite descartar la hipótesis de que en todas las franjas y meses se da un comportamiento homogéneo. El análisis discriminante indicará si la segmentación en cada franja de cada mes es adecuada, y por tanto poder aplicar el siguiente paso que es probar la adherencia de esas observaciones, llamadas recibidas y tiempos de atención, a una distribución de Poisson en las primeras y a una distribución Exponencial en las segundas, por medio del test de Kolmogorov-Smirnov.

²⁵ Para una descripción de la notación de Kendall puede consultarse a Cao (2002) y Pazos et al (2003).

4.2.1 Test de homogeneidad de Kruskal-Wallis

Es una prueba de significación estadística no paramétrica para contrastar la hipótesis nula cuando los parámetros de localización de dos o más grupos son iguales. En este caso se comparan varios grupos usando la mediana de cada uno de ellos, en lugar de las medias.

- H_0 : La mediana de las k poblaciones consideradas son iguales y,
- H_a : Al menos una de las poblaciones tiene mediana distinta a las otras.

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(n+1)$$

Siendo n el total de observaciones, y R_i los rangos definidos en función del número de poblaciones (en este capítulo, para comparar franjas son 24, y para meses son 12).

Este contraste, compara la función de distribución (probabilidad acumulada) teórica con la observada, y calcula un valor de discrepancia, que es la máxima diferencia en valor absoluto entre la distribución observada y la distribución teórica, proporcionando asimismo un valor de probabilidad, P , que corresponde a la probabilidad de obtener una distribución que discrepe tanto como la observada si verdaderamente se hubiera obtenido una muestra aleatoria, de tamaño n , de la distribución que se quiere contrastar. Si esa probabilidad es grande no habrá por tanto razones para suponer que los datos no proceden de una distribución, mientras que si es muy pequeña, no será aceptable suponer ese modelo probabilístico para los datos.

Por tanto se contrasta la igualdad de tipo de función y sus parámetros en las 24 franjas horarias considerando el número de llamadas y los meses. El objetivo es poner de manifiesto esa desigualdad, que una vez probada supone que es necesario segmentar la información en tramos en los que se produzca la adherencia a alguna distribución de probabilidad conocida.

4.2.2 Análisis Discriminante

Se engloba entre las técnicas de dependencia, cuyo objetivo es explicar o predecir un fenómeno definido por una variable (o conjunto de variables) que actúa como dependiente, en función de una serie de factores que se relacionan con él y que actúan como variables independientes o predictoras. El análisis discriminante permite estudiar las diferencias entre dos (en el caso del análisis simple) o más (análisis discriminante múltiple) grupos definidos a priori, con respecto a varias variables simultáneamente. Tiene como objetivo analizar la relación entre una variable dependiente categórica con g modalidades, que se corresponden con los grupos analizados, y un conjunto de variables independientes X_1, X_2, \dots, X_k , métricas o cuantitativas, aunque pueden introducirse también variables cualitativas o categóricas, transformándolas previamente en tantas variables ficticias o *dummy* como modalidades tenga la variable original menos una, a partir de una serie de funciones discriminantes, que son combinaciones lineales de las variables independientes que mejor discriminan o separan los grupos, y cuya expresión es la siguiente:

$$Y_{km} = m_0 + m_1 X_{1km} + m_2 X_{2km} + \dots + m_p X_{pkm}$$

Siendo Y_{km} el valor o puntuación en la función discriminante para el caso m en el grupo k , X_{ikm} el valor de la variable discriminante X_i para el caso m en el grupo k y m_i los coeficientes o ponderaciones de las variables X_i .

El número de funciones discriminantes a obtener depende, a su vez, del número de grupos definidos por la variable dependiente, ya que se obtienen tantas funciones como grupos menos uno, salvo que el número de variables independientes incluidas en el modelo sea inferior, en cuyo caso el número de funciones discriminantes obtenidas coincide con el de variables. Las funciones discriminantes se obtienen de forma que la primera contiene aquellas variables explicativas cuyos valores diferencian los distintos grupos en mayor medida. La segunda función es la segunda combinación de variables que más discrimina entre los grupos, pero con la condición de que los valores obtenidos mediante la primera función no se hallen correlacionados con los de aquella y así sucesivamente.

Estimadas las funciones discriminantes se evalúa su capacidad predictiva mediante el establecimiento de una puntuación de corte óptima que permite asignar los casos a cada uno de los grupos definidos por la variable dependiente, obteniéndose de la puntuación discriminante que corresponde a cada caso a partir de los valores que presenta el individuo en la combinación de variables explicativas que forman las funciones discriminantes. La significación estadística se prueba examinando los residuos de la función discriminante a priori. La Λ de Wilks es una medida de la diferencia entre los grupos, respecto a las variables discriminadas y cuyo objetivo es separar los grupos para que la varianza intragrupo sea mínima y la varianza intergrupos sea máxima.

Los supuestos de partida para poder aplicar el análisis discriminante requieren que cada grupo debe ser considerado como una muestra extraída de una población normal multivariante (normalidad) y que las matrices de covarianzas poblacionales de todos los grupos deben ser iguales (homocedasticidad). Los supuestos pueden comprobarse con los estadísticos Λ de Wilks y M de Box. Caso de no cumplirse los mismos, se aplicaría la función lineal discriminante de Fisher, que no requiere una forma particular de la distribución de las poblaciones. También se ha demostrado empíricamente que el análisis discriminante se muestra robusto con la violación de los supuestos de normalidad y homocedasticidad (Lachenbruch, 1975).

El centroide de un grupo representa el valor medio que alcanzan las funciones discriminantes en dicho grupo y, por tanto, se calcula como la media de las puntuaciones discriminantes para los individuos (frangas horarias) pertenecientes al grupo. Cuando los valores de los centroides son distintos, indica una adecuada discriminación entre los grupos.

Dado que en el trabajo se trata de diferenciar entre 24 frangas horarias (grupos), se aplica el análisis discriminante múltiple, en el que la variable dependiente toma las modalidades de cada uno de los grupos definidos a priori. Se toman las 8.760 observaciones que se corresponden con cada franja horaria del año 2007 (24*365).

Las variables independientes se han seleccionado teniendo en cuenta la estructura de oferta de servicios, la demanda de los mismos, la estacionalidad mensual, y el comportamiento de los usuarios. A continuación se describen dichas variables independientes:

- Número de médicos coordinadores: hace referencia a la oferta de prestación de servicios y de estructura de dimensionamiento.

- Número de teleoperadores y operadores de radio: hace referencia a la oferta de prestación de servicio y de estructura de dimensionamiento.
- Número de llamadas recibidas: demanda de prestación de servicios.
- Mes: construida como índice de la ponderación de demanda, teniendo en cuenta su comportamiento estacional.
- Tiempo en espera hasta ser atendido: relacionada con el nivel de servicios y el dimensionamiento.
- Número de llamadas perdidas: relacionada con nivel de servicio e impaciencia de los usuarios.
- Tiempo en espera hasta perderse: relacionada con la impaciencia de los usuarios.
- Tiempo medio de ocupación del teleoperador: relacionada con el grado de ocupación que tiene que ver con los perfiles de llamantes según momentos del día.

Por tanto, se obtienen inicialmente 8 funciones discriminantes, por el método *stepwise* bajo el criterio de minimizar el estadístico Λ de Wilks, de las que se toman finalmente dos tras su análisis, en orden a su capacidad de discriminación y búsqueda de parsimonia metodológica.

Las dos grandes finalidades que se pretenden con la aplicación del análisis discriminante son la descripción de diferencias entre grupos y la predicción de pertenencia a grupos (Pérez, 2005). Para este trabajo, no es tan importante que clasifique las llamadas recibidas con gran precisión (se fija un umbral de clasificación correcta de al menos el 60% de las llamadas) sino que a través del valor de las funciones en los centroides de los grupos se observen diferencias, que aunque pequeñas, permitan discriminar, o en su caso pueda servir de base para agrupar franjas y reducir el número de grupos para otros fines. Por ello aplicando esta técnica se quiere probar, fundamentalmente, que la partición en franjas de una hora por meses es suficientemente discriminante, es decir, distinta para que pueda aplicarse alguna prueba de comportamiento estable y estacionario de llamadas recibidas y tiempos de atención con objeto de dimensionar los recursos en las franjas y meses que a priori se han seleccionado como grupos discriminantes.

Se estudia también la importancia de cada una de las variables en la separación de los grupos por medio de los coeficientes de estructura, que calculan el coeficiente de correlación lineal entra cada variable y cada una de las funciones discriminantes. Su valor está acotado entre 0 y 1, así valores próximos a 0 indican poca relación entre la función discriminante y la variable y valores próximos a 1 indican una relación lineal muy fuerte. De esta forma, las variables con mayores coeficientes de estructura son las que más se correlacionan con las funciones discriminantes, y por ello, las que más contribuyen a discriminar entre los grupos.

4.2.3 Test no paramétrico de adherencia de Kolmogorov-Smirnov

Este test es una prueba de significación estadística no paramétrica para contrastar la hipótesis nula de que la distribución de una variable se ajusta a una determinada distribución teórica de probabilidad. Este contraste compara la función de distribución (probabilidad acumulada) teórica ($F_0(X_i)$) con la observada ($F(X_i)$). La forma de obtener la función de distribución de Poisson es:

$$F_0(X_i) = \sum_{l=0}^i [e^{-\lambda} \lambda^l / l!]$$

Una vez obtenidas las distribuciones empírica y teórica se calcula un valor de discrepancia, representado habitualmente como D , que corresponde a la máxima diferencia en valor absoluto entre la distribución empírica y la distribución teórica, proporcionando asimismo un valor de probabilidad P , que corresponde, si se está verificando un ajuste a la distribución de Poisson, a la probabilidad de obtener una distribución que discrepe tanto como la observada si verdaderamente se hubiera obtenido una muestra aleatoria, de tamaño n , de una distribución de Poisson:

$$Z_{k-s} = \max |D_i| \sqrt{n}$$

Si esa probabilidad es grande no habrá razones para suponer que los datos no proceden de esa distribución, mientras que si es muy pequeña, no será aceptable suponer ese modelo probabilístico para los datos.

Se ha aplicado este test para las variables que se definen a continuación:

- Llamadas recibidas: las atendidas por los teleoperadores, se aplica adherencia a distribuciones de Poisson y Normal.
- Solicitud de escucha: trabajo realizado por los médicos coordinadores, se aplica adherencia a distribuciones de Poisson y Normal.
- Llamadas emitidas: llamadas salientes que son responsabilidad del operador de radio, se aplica adherencia a distribuciones de Poisson y Normal.
- Tiempos de servicio: tiempo ocupado por los teleoperadores desde que atienden la llamada hasta que cuelgan con el usuario, se aplica adherencia a distribución Exponencial.
- Tiempo de escuchas: tiempo ocupado por el médico coordinador atendiendo y dando instrucciones hasta que finaliza su intervención, se aplica adherencia a distribución Exponencial.
- Tiempo de emisión: tiempo ocupado por operador de radio activando equipos y haciendo seguimiento de la atención, se aplica adherencia a distribución Exponencial.

El *software* utilizado para la identificación de estados estacionarios es SPSS *statistics* versión 18.

Los resultados obtenidos con este último test indican los modelos de colas que pueden aplicarse y que a continuación se pasa a detallar.

4.3 MODELOS DE COLAS PARA LA PLANIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES DE PERSONAL

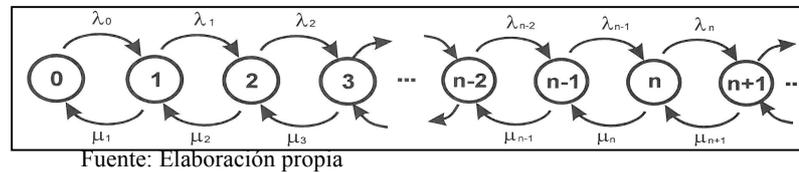
Se exponen los modelos que se han aplicado de acuerdo con la identificación de estados estacionarios, y se describen brevemente otros modelos de potencial aplicación en función del comportamiento de llegadas y tiempos de atención.

4.3.1 Modelo M/M/S

Es también conocido también como Erlang-C en ingeniería de teletráfico. Supone que las llegadas siguen una distribución de Poisson y los tiempos de servicio una distribución Exponencial negativa. En general, es un proceso estocástico de dos variables aleatorias, llegadas y tiempo de servicio, observadas en el tiempo. Es un proceso en tiempo continuo y con espacio de estados discreto, ya que se quiere conocer en un instante dado $T=[0,23]$

el número de llamadas que se reciben $R=\{0,1,2,3,\dots\}$ y el número de usuarios que se han atendido $A=\{0,1,2,3,\dots\}$. Usualmente se denomina un proceso de Poisson, que es un proceso de nacimiento y muerte. Asimismo puede analizarse como un proceso Markoviano de ciclo continuo²⁶. El gráfico 4.1 representa una fracción de la cadena de transición del modelo.

Gráfico 4.1: Fracción de una cadena de transición del modelo M/M/S

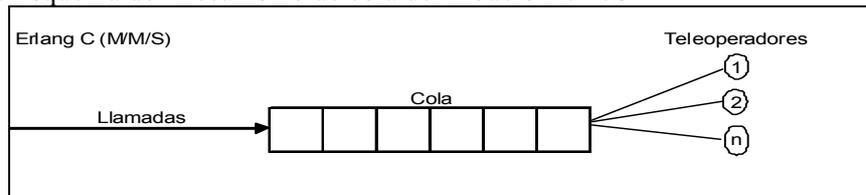


Fuente: Elaboración propia

Se observa que el estado en un momento determinado depende de las llegadas (λ) del periodo anterior y las salidas (μ) del periodo actual, debiendo darse que la tasa de entradas ha de ser inferior a la tasa de salidas para alcanzar el equilibrio, lo que se obtiene resolviendo las ecuaciones de Chapman-Kolmogorov (Hillier y Lieberman, 2006).

En el gráfico 4.2 se esquematiza el modelo M/M/S, en el que se indica como llegan los usuarios al sistema (λ), se genera una cola, y pasan a ser atendidos inicialmente por los teleoperadores (μ).

Gráfico 4.2: Esquema del mecanismo de cola del modelo M/M/S



Fuente: Elaboración propia

Existe una amplia y diversa bibliografía que describe la aplicación del modelo M/M/S, que puede consultarse en cualquier manual de investigación de operaciones, recomendando Hillier y Lieberman (2006). En la industria de *call center* es muy habitual el uso del modelo M/M/S. De hecho las empresas de teleoperación que trabajan con EPES aplican este modelo para el cálculo de las necesidades de planificación de personal teleoperador y operador de radio.

Las medidas de rendimiento y desempeño del sistema que interesan son el nivel de servicio, teniendo en cuenta un ASA (*Average Speed of Answer*) de 10 segundos, es decir, que el tiempo hasta atender la llamada no supere en promedio 10 segundos, dado que es el tiempo objetivo fijado por EPES, considerado como adecuado para atender una llamada de emergencias sanitarias. Dada esa premisa, se calculará el porcentaje de llamadas que serán atendidas antes de ese tiempo objetivo.

²⁶ Las nociones de cadenas de Markov se pueden extender a un tiempo continuo $t \geq 0$. En tiempo continuo es complicado definir la distribución condicionada, dados todos los valores X_r para $r \leq s$, por lo que en su lugar se expresa que $X_t, t \geq 0$, es una cadena de Markov si para cualquier $0 \leq s_0 < s_1 < \dots < s_n < s$ y posibles estados i_0, \dots, i_n, i, j se tiene que:

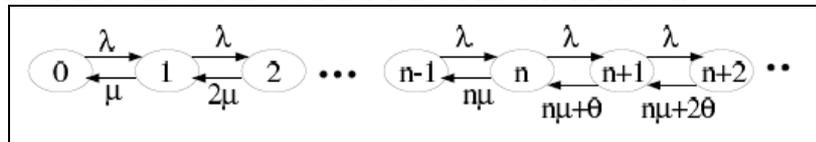
$$P(X_{t+s} = j \mid X_s = i, X_{s_1} = i_1, \dots, X_{s_0} = i_0) = P(X_t = j \mid X_0 = i)$$

Esto es, dado el estado actual, el resto del pasado es irrelevante para predecir el futuro. En la definición se observa que la probabilidad de ir desde i en el tiempo s hasta j en el tiempo $s + t$ solo depende de t , esto es, de las diferencias de tiempos, lo que es coincidente con un proceso de nacimiento y muerte.

4.3.2 Modelo M/M/S+k

También es conocido también como Erlang-A en ingeniería de teletráfico. A diferencia del anterior modelo, se caracteriza por tener en cuenta que es posible que determinados usuarios abandonen la cola, es decir, se pierdan llamadas. Su cadena de transición (gráfico 4.3) se caracteriza por incluir una tasa θ de impaciencia exponencial con el tiempo.

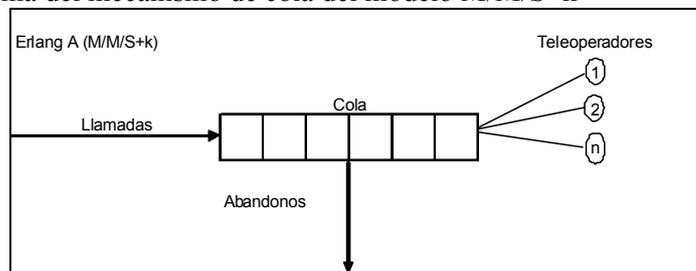
Gráfico 4.3: Fracción de una cadena de transición del modelo M/M/S+k



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.4 se esquematiza el modelo M/M/S+k.

Gráfico 4.4: Esquema del mecanismo de cola del modelo M/M/S+k



Fuente: Elaboración propia

Los usuarios al sistema (λ), se genera una cola, abandonan algunos (θ) con impaciencia exponencial, y el resto pasan a ser atendidos por los teleoperadores (μ). En Anexo XI se incluyen las fórmulas básicas del modelo.

Los trabajos pioneros de este tipo de modelos en los que se considera relevante la impaciencia de los clientes se deben a Palm (1953). La gran dificultad estriba en modelizar el comportamiento de esa impaciencia, ya que se ha observado empíricamente que no siempre la impaciencia es exponencial y que la disposición a esperar también depende de la experiencia previa de los clientes cuando contactan con el centro de atención de llamadas (Shen, 2010). Para una revisión de los métodos para calcular la impaciencia puede consultarse (Mandelbaum *et al*, 2013). Entre ellos, se recomiendan los modelos basados en análisis de supervivencia, tales como el estimador de Kaplan-Meier y la regresión de Cox, que se han expuesto en el capítulo 2. Para este caso se toma como impaciencia, de acuerdo con los resultados del mencionado capítulo, un tiempo de 42 segundos, y se probará la hipótesis de impaciencia exponencial. Asimismo se tomarán como medidas de rendimiento y desempeño las mencionadas en el modelo M/M/S y además se obtendrá el porcentaje de llamadas perdidas o abandonadas.

Con este modelo, intuitivamente, se obtienen mejores rendimientos ya que a igualdad de recursos tiene en cuenta que la carga de trabajo sólo es inducida por las llamadas atendidas, al contrario que M/M/S que considera como carga de trabajo la totalidad de llamadas recibidas.

4.3.3 Otros modelos de colas para la planificación de las necesidades de personal

Sin ser exhaustivos, se pasa a describir brevemente una serie de modelos, que en función de las características de las colas y el comportamiento de llegadas y tiempos de atención podrían ser de aplicación en otras situaciones. El modelo M/M/S/K (Erlang-B en Ingeniería de teletráfico), se diferencia de los anteriores en que limita el espacio de la cola, en este caso el número de líneas, presuponiendo la posibilidad de bloqueos, es decir, tonos de ocupado. Pero dado que el número de líneas contratadas es superior al necesario y al número de teleoperadores, la posibilidad de bloqueo es despreciable en este caso. Existen otros modelos con distribuciones de llegadas markovianas y tiempos de servicio que siguen cualquier distribución, denominados M/G/S cuyas fórmulas (aproximación P-K, fórmula de Pollaczek-Klitchine) requieren conocer la desviación típica de los tiempos de servicio, y están disponibles en *software* como QTS_Excel. Se puede aplicar igualmente el modelo GI/G/S (las llegadas y los tiempos de servicio siguen cualquier distribución), que está resuelto con la aproximación de Allen-Cunneen. Asimismo, son aplicables otros modelos como GI/M/S, y por supuesto todos aquellos con llegadas y/o tiempos de servicio determinísticos. Otros modelos de aplicación son los conocidos como tipo Phase, que obtienen las distribuciones al desglosar el tiempo total en cierto número de fases, y aunque se han obtenido aproximaciones (Ausín, 2003), su formulación y resolución numérica es una tarea muy laboriosa.

El software utilizado para los modelos de colas es 4callcenters versión 2.23.

4.3.4 Red de colas²⁷

Muchos sistemas se pueden modelar de manera que un cliente obtenga servicios a partir de varios nodos sucesivos, es decir, una vez que un cliente ha finalizado el servicio en un nodo pasa a otro, así la demanda total de servicios se compone de demandas de servicios en distintos nodos. En el caso del centro de atención de llamadas de EPES cada nodo estaría representado por el Teleoperador, el médico coordinador y el operador de radio.

Las redes de colas se clasifican en abiertas y cerradas, en las cerradas la cantidad de clientes es fija mientras que en las abiertas la cantidad de clientes varía. El sistema de espera clásico de Erlang C, M/M/S, es un ejemplo de un sistema abierto. El proceso de salida en un nodo es el proceso de llegada en otro, por ello debe prestarse atención a este proceso de salida, en particular cuando se puede modelar como proceso de Poisson.

El estado de una red se define como la distribución simultánea del número de clientes en cada nodo. Si K representa el número total de nodos, el estado se describe entonces mediante un vector $p(i_1, i_2, \dots, i_K)$, siendo i_k es el número de clientes en el nodo k ($k = 1, 2, \dots, K$). Con frecuencia el espacio de estado es muy amplio y las probabilidades de estado son difíciles de calcular mediante la resolución de ecuaciones de equilibrio de nodos. Si cada nodo es un sistema simétrico de puesta en fila, por ejemplo red de Jackson, se tendrá entonces una forma de producto. Las probabilidades de estado de redes con forma de producto se pueden agregar y obtener utilizando el algoritmo de convolución.

Las redes de Jackson pueden ser generalizadas cuando hay N tipos de clientes y los clientes de un tipo específico pertenecen a una denominada cadena. Cuando el número de cadenas aumenta el espacio de estado se incrementa, y sólo se pueden calcular exactamente los sistemas con un pequeño número de cadenas. En el caso de una red multicadena, el estado de cada nodo resulta multidimensional. La forma de producto entre nodos se mantienen, y son aplicables también los algoritmos de convolución.

²⁷ Este apartado de la metodología está basado en documentación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UTI, 2009). Para un conocimiento del desarrollo y prueba del Teorema de Burke y el Teorema de Jackson, pueden revisarse los textos de Burke (1956), Kleinrock (1975) y Walrand (1988).

Para analizar los sistemas de puesta en fila es importante conocer cuándo el proceso de salida de un sistema de fila de espera es un proceso de Poisson. El modelo de puesta en fila que tiene esta propiedad M/M/S se calcula con el teorema de Burke, que expresa que el proceso de salida de un sistema M/M/S es un proceso de Poisson, estando dadas las probabilidades de espacio de estado por la ecuación:

$$p(i) = \frac{A^i}{i!} \cdot p(0), \quad 0 < i \leq n,$$

$$p(i) = p(n) \cdot \left(\frac{A}{n}\right)^{i-n}, \quad i > n,$$

Siendo $A = \lambda / \mu$

Tanto el proceso de llegada como el de salida son procesos de Poisson y los sistemas son reversibles, pues tienen el mismo aspecto que cuando se invierte el tiempo.

El teorema de Jackson demuestra que una red de puesta en fila de espera de nodos M/M/S tiene forma de producto. Se considera una red de puesta en fila de espera abierta con K nodos que satisfacen las siguientes condiciones:

- a) Cada nodo es un sistema de puesta en fila M/M/S. El nodo k tiene n_k servidores y el promedio del tiempo de servicio es $1/\mu_k$.
- b) Los clientes llegan desde fuera del sistema al nodo k conforme a un proceso de Poisson con intensidad λ_k . Pueden llegar también clientes de otros nodos al nodo k .
- c) Un cliente, que acaba de finalizar su servicio en el nodo j , se transfiere inmediatamente al nodo k con probabilidad p_{jk} o sale de la red con probabilidad:

$$1 - \sum_{k=1}^K p_{jk}.$$

Un cliente puede visitar varias veces el mismo nodo si $p_{jk} > 0$, siendo el promedio de la intensidad de llegada Λ_k en el nodo k que se obtiene empleando las ecuaciones de equilibrio de flujo:

$$\Lambda_k = \lambda_k + \sum_{j=1}^K \Lambda_j \cdot p_{jk}.$$

Sea $p(i_1, i_2, \dots, i_K)$ la representación de las probabilidades de espacio de estado conforme a la hipótesis de equilibrio estadístico, es decir, la probabilidad que haya i_k clientes en el nodo k . Asimismo, si se supone que:

$$\frac{\Lambda_k}{\mu_k} = A_k < n_k.$$

entonces las probabilidades de espacio de estado vienen dadas en forma de producto:

$$p(i_1, i_2, \dots, i_K) = \prod_{k=1}^K p_k(i_k).$$

Aquí para el nodo k , $p_k(i_k)$ es la probabilidad de estado de un sistema M/M/S con intensidad de llegadas Λ_k y velocidad de servicio μ_k . Ha de cumplirse, al igual que el modelo M/M/S, que la tasa de servicio sea superior a la tasa de entrada para que el sistema tenga solución. El punto fundamental del teorema de Jackson es que cada nodo

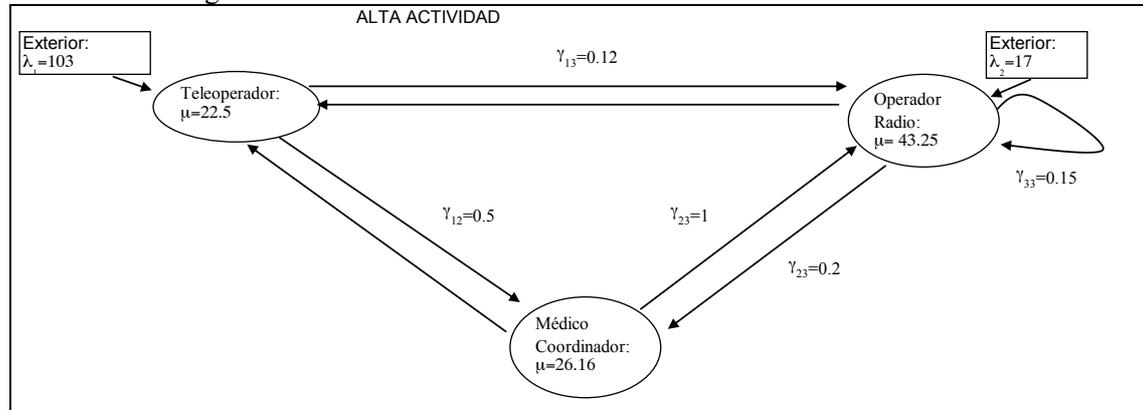
puede ser considerado independientemente de los otros y que las probabilidades de estado vienen dadas por la fórmula de Erlang-C, lo que simplifica considerablemente el cálculo de las probabilidades de espacio de estado. En el Anexo XII se incluyen las fórmulas básicas de una Red de Jackson.

En resumen, el modelo de red abierta acíclica de Jackson es aplicable en el caso de entradas de Poisson y tiempos de servicio exponenciales. Los cálculos conducen al conocimiento de los tiempos de permanencia en el sistema y al resto de medidas habituales en los estudios de colas. Se debe utilizar cuando el cliente pasa por diversas estaciones, puede acceder a cualquiera de ellas, y se supone, al igual que en el resto de modelos, que todos los servidores individualmente considerados ofrecen el mismo tiempo de servicio. Aunque los llamantes de EPES no pasan por los tres nodos, el trabajo relacionado con la llamada si es posible que transite por cada uno de ellos, por tanto su aplicación ayuda a un mejor conocimiento del efecto de las interrelaciones entre los tres tipos de servidores (teleoperador, médico, operador de radio). Se analiza el comportamiento para los casos de alta y baja actividad, bajo las siguientes suposiciones:

1. Se mantienen las tasas de entrada, es decir, llamadas recibidas, escuchas enviadas, y llamadas emitidas. Para el caso de las llamadas recibidas por línea TPT, y de acuerdo a lo explicitado en el capítulo 1, éstas son atendidas por el operador de radio. Por tanto, las tasas de entrada se desdoblán en 103 llamadas por hora y 17 llamadas por hora para los puestos de teleoperador y operador de radio respectivamente en alta actividad. Para baja actividad las tasas son de 33 y 7. Todo ello, según la proporción de cada tipo de llamada por línea expuesto en el análisis descriptivo de la gestión de la demanda del capítulo 1.
2. Se mantienen los tiempos de servicio y de ocupación calculados de los 3 puestos de trabajo.
3. En alta actividad, se asume que el teleoperador envía el 50% de llamadas recibidas a escucha del médico, y un 12% envía órdenes al operador de radio. Asimismo el médico envía órdenes al operador de radio en el 100% de los casos, que aunque no es del todo realista, compensa el hecho de que cada caso produce más de dos llamadas emitidas. El operador de radio se queda con un 15% de los casos para volver a gestionarlos (transporte interhospitalario, unidades saturadas,...) y envía información para toma de decisiones al médico en el 20% de las llamadas emitidas. En baja actividad, se asumen los mismos supuestos.

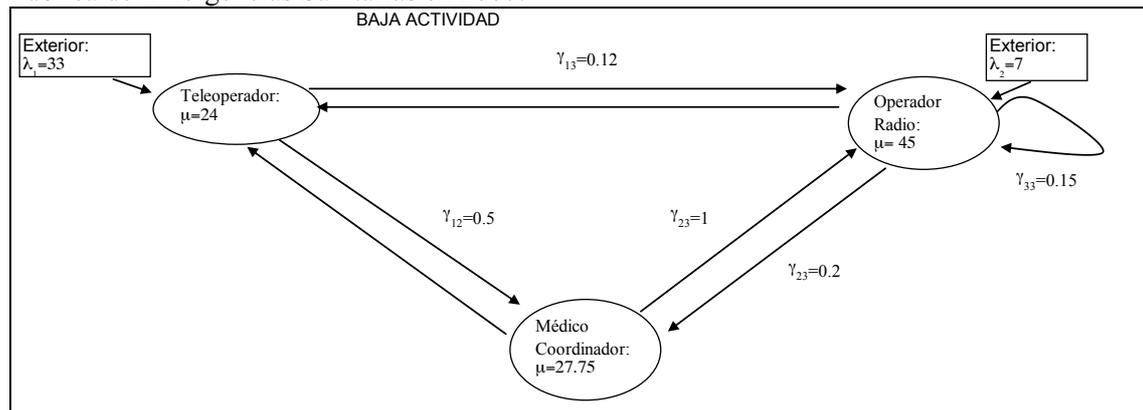
En los gráficos 4.5 y 4.6 se exponen los esquemas de red de Jackson aplicados para alta y baja actividad respectivamente:

Gráfico 4.5: Esquema de la Red de Jackson para alta actividad del *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.6: Esquema de la Red de Jackson para baja actividad del *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.



Fuente: Elaboración propia

Las asunciones expuestas conllevan cierto grado de incertidumbre, dado que las estimaciones de las interrelaciones se basan en análisis generales del funcionamiento del *call center* de llamadas, no obstante supone una primera aproximación a la determinación del equilibrio de necesidades de personal por tipos de puestos.

El software utilizado para modelizar y calcular la red de colas es QTS_Excel versión 2.1

4.4 RESULTADOS

Se muestran, en primer lugar, los resultados obtenidos en la identificación de estados estacionarios y posteriormente los de los modelos de colas aplicados.

Los resultados de la aplicación del test de Kruskal-Wallis ($p < 0.05$) indican que no existe homogeneidad por franjas y meses, por tanto se descarta que las diferencias en llamadas y meses puedan deberse al azar y que sigan distribuciones de probabilidad iguales.

Los resultados del análisis discriminante indican que los supuestos de normalidad y homocedasticidad multivariante no se cumplen (Λ de Wilks y M de Box con $p < 0.05$).

Capítulo 4.- Planificación de las necesidades de personal del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

El resumen de las funciones discriminantes canónicas muestra que la primera función explica el 95% de la varianza y la segunda prácticamente el resto hasta el 100%, por lo que no se tendrán en cuenta más funciones para la discriminación, como se muestra en la tabla 4.1.

Tabla 4.1: Autovalores y varianza explicada por las funciones discriminantes en las llamadas recibidas en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

Función	Autovalor ^a	% de varianza	% acumulado	Correlación canónica
1	1743.496	95.1	95.1	1.000
2	88.126	4.8	99.9	.994
3	.647	.0	100.0	.627
4	.409	.0	100.0	.539
5	.105	.0	100.0	.308
6	.028	.0	100.0	.166
7	.012	.0	100.0	.111
8	.008	.0	100.0	.086

a Se han empleado las 8 primeras funciones discriminantes canónicas en el análisis.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.2 se muestra el valor de las funciones en los centroides de los grupos .

Tabla 4.2: Valor de las funciones en los centroides de los grupos (franja) del análisis discriminante de las llamadas recibidas en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

Franja	Función 1	Función 2
0	-2,6794	-20,1074
1	-52,0604	-3,7185
2	-52,3420	-3,6864
3	-52,0663	-3,6223
4	-52,0640	-3,6345
5	-52,0695	-3,7439
6	-52,0745	-3,8595
7	-50,5764	-11,8497
8	-53,5774	4,7027
9	-55,0740	13,1959
10	-8,6768	13,1491
11	-8,6703	13,0578
12	39,2164	4,8061
13	39,2176	4,9513
14	39,1977	4,9164
15	40,6775	-3,2897
16	41,9190	-10,2601
17	41,9241	-10,3419
18	37,7221	12,7529
19	37,7250	12,8850
20	40,7320	-3,4016
21	40,7270	-3,4467
22	42,4557	-13,1901
23	-7,8005	7,9389

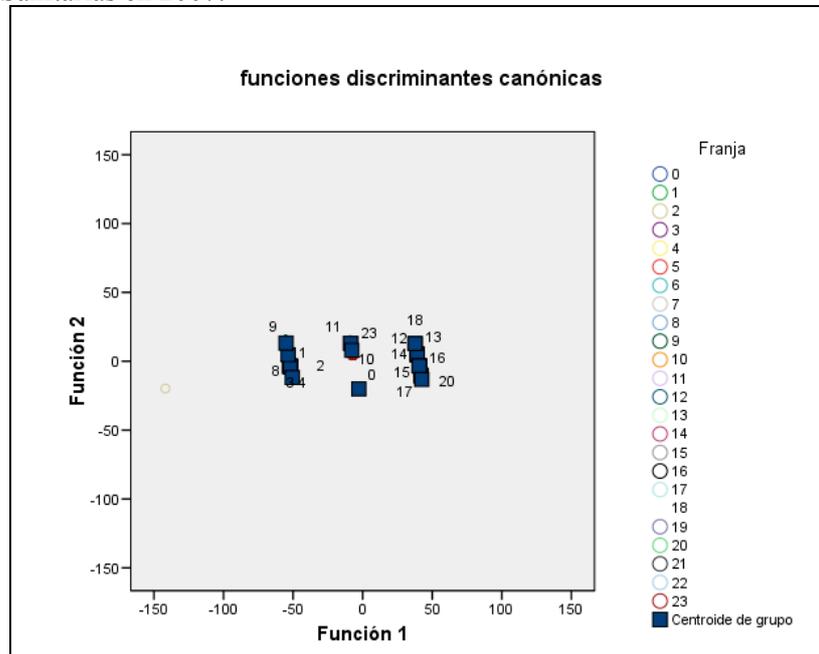
Fuente: Elaboración Propia

Debido a su proximidad en algunas franjas (1 a 6, 10-11, 12-14, 16-17, 18-19, 20-21), una posible agrupación de dichas franjas contribuiría a mejorar los resultados de clasificación. No obstante, desde el punto de vista de la gestión es conveniente separar franjas y meses, dado que la programación del personal necesario para atender las llamadas debe realizarse con mayor flexibilidad, suponiendo el adecuado complemento para la optimización de plantilla del capítulo 5.

Capítulo 4.- Planificación de las necesidades de personal del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

El gráfico 4.7 muestra las funciones discriminantes canónicas con respecto a las dos primeras funciones discriminantes.

Gráfico 4.7: Funciones discriminantes canónicas del *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.



Fuente: Elaboración propia.

Se identifican grupos no muy distantes, pero si diferenciados, en especial horarios de madrugada, mañana y tarde

En la tabla 4.3 se exponen los coeficientes de las funciones discriminantes.

Tabla 4.3: Coeficientes de las funciones discriminantes canónicas del análisis discriminante de las llamadas recibidas en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

Variable	Función 1	Función 2
Tiempo en espera hasta perderse	0 ,0012	-0 ,0036
Llamadas recibidas	0 ,0015	0 ,0089
Llamadas perdidas	0 ,0018	-0 ,0104
Número de Operadores	-1 ,5063	8 ,1528
Número de Médicos Coordinadores	49 ,3779	-16 ,4364
Tiempo en espera hasta ser atendida	-0 ,0107	0 ,0062
Índice de mes	-0 ,0004	-0 ,0118
Tiempo medio de ocupación	0 ,0005	-0 ,0009
(Constante)	-141 ,8071	-18 ,8658

Fuente: Elaboración Propia

Se observa un coeficiente alto en las variables relacionadas con oferta y estructura (número de médicos coordinadores y operadores), señalándose que en la inclusión *stepwise* el orden correspondió a variables de oferta y estructura, índice de mes, llamadas recibidas, y tiempos.

Los coeficientes de estructura (tabla 4.4) muestran que las variables número de médicos coordinadores y número de operadores son las más correlacionadas con cada una de las funciones discriminantes, seguidas del número de llamadas recibidas y el índice de mes.

Capítulo 4.- Planificación de las necesidades de personal del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

Una vez se ha demostrado la no homogeneidad de llamadas recibidas por franjas y meses, se ha determinado una clasificación discriminante para esas variables y se ha probado un proceso no homogéneo de Poisson para las mismas, se proceden a exponer los resultados de los modelos de colas aplicados.

4.4.1 Modelo M/M/S

4.4.1.1 Plantilla óptima de Teleoperadores según el modelo M/M/S

Los resultados se obtienen sobre la base del funcionamiento habitual del centro de atención de llamadas, es decir, que en horario de 8hs. a 21hs. trabajan separadamente los puestos de teleoperador y operador de radio y en el resto de horarios son polivalentes, se muestran en la tabla 4.6 que refleja el cálculo de las necesidades de esos puestos.

Tabla 4.6: Necesidades de Teleoperador según el modelo de colas M/M/S en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

franja	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	media
0	6	6	5	6	6	6	7	7	6	6	5	7	6,08
1	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5	4	5	5,00
2	5	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	5	4,33
3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3,92
4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4	3,83
5	4	4	3	4	3	4	4	4	3	3	3	4	3,58
6	4	4	3	3	3	4	4	4	3	3	3	4	3,50
7	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3,92
8	8	8	8	7	8	8	8	7	8	7	7	8	7,67
9	12	10	10	8	8	10	10	10	10	10	10	11	9,92
10	12	11	10	10	10	10	11	11	10	11	11	13	10,83
11	13	11	10	11	10	11	11	12	12	12	11	14	11,50
12	13	12	10	12	11	12	12	12	11	11	10	13	11,58
13	12	12	10	10	10	10	12	11	10	11	10	12	10,83
14	11	11	10	10	10	10	11	10	10	10	10	11	10,33
15	11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	10,17
16	11	10	10	9	9	9	10	10	10	10	9	11	9,83
17	11	11	10	10	9	10	10	10	9	10	10	11	10,08
18	12	11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	10,33
19	12	12	10	10	10	10	11	11	10	11	10	11	10,67
20	12	12	11	11	10	11	11	11	11	11	11	12	11,17
21	13	12	12	11	11	12	11	11	11	11	11	12	11,50
22	10	9	8	9	8	9	9	9	8	8	7	9	8,58
23	8	7	7	7	8	8	8	8	7	7	7	7	7,42
MEDIA	9,04	8,50	7,83	7,88	7,63	8,13	8,46	8,33	7,88	8,04	7,67	8,92	8,19

Fuente: Elaboración propia.

Si se compara con la programación real, expuesta en el capítulo 1, se observan diferencias que se muestran en la tabla 4.7.

Capítulo 4.- Planificación de las necesidades de personal del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

Tabla 4.7: Diferencias de necesidades de Teleoperador por M/M/S comparado con la programación observada en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

franja	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	media
0	0	0	1	0	0	0	-1	-1	0	0	1	-1	-0,08
1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	2	1	1,00
2	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	1,67
3	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2,08
4	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	3	2	2,17
5	2	2	3	2	3	2	2	2	3	3	3	2	2,42
6	2	2	3	3	3	2	2	2	3	3	3	2	2,50
7	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1,08
8	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	0	-1	0	0	-1	-0,67
9	-4	-2	-2	0	0	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2,74	-1,90
10	-2	-1	0	0	0	0	-1	-1	0	-1	-1	-2,74	-0,81
11	-3	-1	0	-1	0	-1	-1	-2	-2	-2	-1	-3,74	-1,48
12	-2	-1	1	-1	0	-1	-1	-1	0	0	1	-1,74	-0,56
13	-1	-1	1	1	1	1	-1	0	1	0	1	-0,74	0,19
14	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0,26	0,69
15	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,74	-0,15
16	-1,74	-0,71	-0,71	0,3	0,26	0,3	-0,71	-0,74	-1	-1	0	-2	-0,65
17	-1,74	-1,71	-0,71	-0,7	0,26	-0,7	-0,71	-0,74	0	-1	-1	-2	-0,90
18	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1,67
19	0	0	2	2	2	2	1	1	2	1	2	1	1,33
20	-2	-2	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-1,17
21	-3	-2	-2	-1	-1	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-1,50
22	-1,26	-0,29	0,71	-0,3	0,74	-0,3	-0,29	0	1	1	2	0	0,25
23	1,03	2	2	2	1	1	1	2	3	3	3	3	2,00
media	-0,49	0,05	0,72	0,68	0,93	0,43	0,10	0,27	0,71	0,54	0,92	-0,26	0,38

Rojo= Defecto de personas; Amarillo= Exceso de personas; Verde=Equilibrio
Fuente: Elaboración propia.

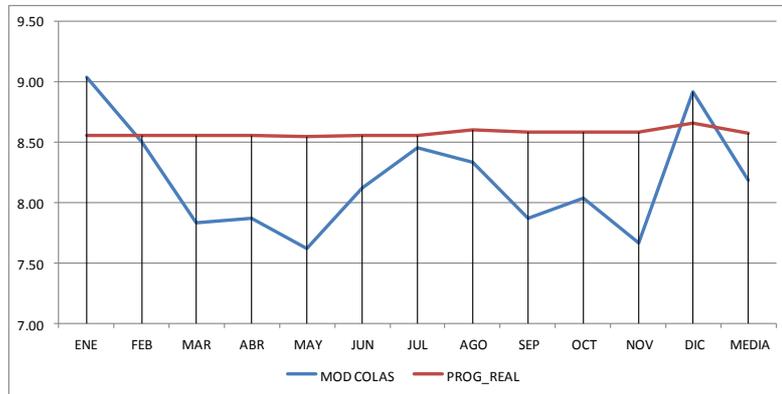
Se obtiene un exceso de recursos en las franjas 1 a 7 en todos los meses de año (entre 1 y 3 profesionales de más según el modelo de colas), un defecto de los mismos en franjas de 8 a 13 y en especial los meses de enero, febrero, julio, agosto y diciembre (entre 1 y 4); en las franjas de 20 a 22 también se da un defecto (entre 1 y 3 aproximadamente).

En general, se produce un exceso de 0,38 personas por franja y mes, o lo que es lo mismo, unas 3.300 horas, que al precio de 20 euros, supone un exceso de algo más de 66.000 euros (4,43%).

En los gráficos 4.8 y 4.9 se representan los valores medios mensuales y por franja horaria respectivamente.

Capítulo 4.- Planificación de las necesidades de personal del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

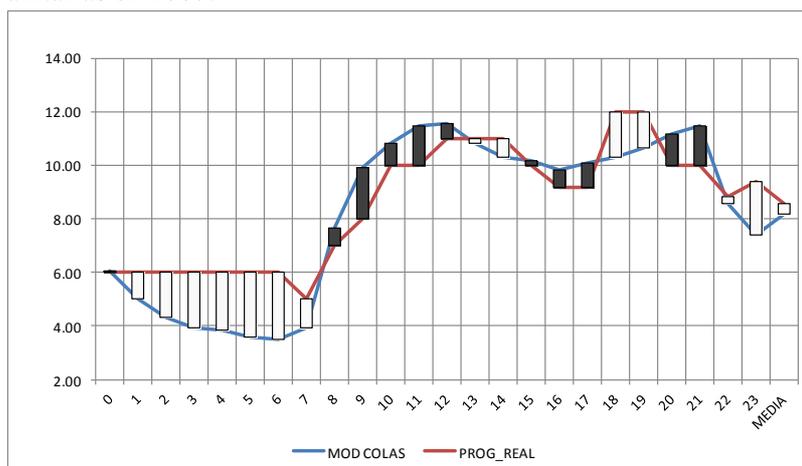
Gráfico 4.8: Diferencias de necesidades de Teleoperador por M/M/S comparado con la programación observada, en media de meses, en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.



Fuente: Elaboración propia

Si bien el número de teleoperadores totales no varía en exceso, ni la programación horaria ni la mensual se ajustan a las necesidades. La programación mensual es casi plana, por lo que en los meses de enero y diciembre es insuficiente y el resto de meses es excedente.

Gráfico 4.9: Diferencias de necesidades de Teleoperador por M/M/S comparado con la programación observada, en media de franja horaria, en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.



Fuente: Elaboración propia

Como se ha comentado, se produce defecto de profesionales con respecto a las necesidades según el modelo de colas de madrugada, a mediodía, a las 19 y a última hora. A media mañana, después de comer y entre las 20 y las 22 se produce exceso.

El cálculo de las medidas de rendimiento ASA, porcentaje de ocupación y porcentaje de llamadas incluidas en el objetivo se muestran en las tablas 4.8, 4.9 y 4.10.

Capítulo 4.- Planificación de las necesidades de personal del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

Tabla 4.8: *Average Speed of Answer* medio Teleoperador con M/M/S en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

franja	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	media
0	11	7,14	9,36	5,62	7	9,6	6,9	4,53	4,92	4,83	9,05	6,9	7,24
1	7,91	5,59	5,64	4,34	3,64	6,7	5,1	12,8	6,58	5,14	11,1	12	7,20
2	4,92	6,51	5,71	8,07	6,78	9,8	3,5	5,37	8,52	7,04	4,92	3,5	6,20
3	7,93	6,29	4,46	4,81	11,8	2,4	9,2	7,83	4,18	3,64	3,7	6,9	6,12
4	4,47	2,79	3,34	4,77	12,8	4,4	4,5	7,86	3,72	3,08	12,5	8,1	6,05
5	6,69	2,66	10,8	2,58	6,88	3	3,5	6,06	8,47	8,75	7,38	3,5	5,88
6	3,02	3,68	8,97	8,43	10,5	2,6	2,7	4,58	7,71	8,96	12,5	3,9	6,47
7	5,64	8,16	4,73	3,21	4,39	4,8	8,3	7,43	11,6	4,16	6,92	6,3	6,29
8	3,95	3,57	5,23	7,61	3,77	4,1	6,6	7,45	3,91	6,87	7,4	5,4	5,50
9	5,76	8,23	3	11,2	12,3	4,9	8,1	7,56	3,45	4,58	7,16	6,4	6,88
10	9,43	8,54	4,65	8,72	6,59	10	5,7	6,61	6,6	6,04	6,07	7,6	7,21
11	9,12	10,4	10,5	7,79	8,8	9,5	6,3	7,08	3,76	3,9	6,15	7	7,50
12	5,54	5,6	7,84	4,13	7,98	4,5	5,2	7,27	6,83	6,24	7,48	5,8	6,20
13	6,86	4,74	7,72	8,73	7,98	8,2	4,4	9,66	7,67	5,74	7,02	7,9	7,23
14	6,42	6,74	6,12	6,47	4,73	6,8	5,5	9,19	6,27	7,57	4,66	6,5	6,42
15	9,47	7,2	3,77	4,93	3,17	7,3	7,5	7,58	5,59	6,47	3,69	4,1	5,89
16	5,46	8,44	3,76	7,36	7,09	7,6	5,5	5,77	3,7	3,62	8,17	4,4	5,88
17	4,34	4,6	5,39	5,76	7,62	4,5	5,3	5,3	7,47	4,41	3,87	4,9	5,30
18	5,52	5,26	5,31	7,23	5,81	9,3	8,2	7,35	6,01	8,72	5,89	8,8	6,97
19	8,79	4,57	7,24	8,77	5,4	8,5	5,2	4,52	7,18	4,68	6,85	8,4	6,69
20	8,15	6,89	9,33	5,65	8,28	8,9	7,7	4,34	6,24	7,51	6,29	4,9	7,02
21	6,96	7,94	4,16	9,65	5,12	6,6	8,8	8,69	4,81	7,41	4,79	5,5	6,69
22	5,61	8,59	8,14	6,54	11,5	11	7,4	7,61	4,55	8,22	9,05	7,9	8,00
23	7,28	10,5	5,43	8,38	6,8	13	12	7,41	5,52	6,08	4,77	7,7	7,87
Media	6,68	6,44	6,27	6,70	7,36	7,00	6,37	7,08	6,05	5,99	6,97	6,42	6,61

Fuente: Elaboración propia.

El ASA medio es algo más de 6,5 segundos y siempre inferior a 13 segundos, por lo que mejora los 10,5 segundos de tiempo medio de respuesta calculado para 2007.

Tabla 4.9: Porcentaje de ocupación de Teleoperador con M/M/S en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

franja	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	media
0	60,52%	55,52%	54,26%	53,71%	55,91%	59,86%	59,32%	55,31%	51,87%	51,71%	54,90%	58,44%	55,96%
1	52,47%	48,83%	48,29%	46,57%	44,22%	50,73%	52,75%	59,16%	50,22%	47,32%	51,69%	56,23%	50,73%
2	46,13%	44,98%	42,57%	47,23%	44,51%	50,32%	44,44%	48,48%	47,25%	46,53%	41,40%	43,48%	45,60%
3	46,19%	44,16%	40,03%	41,37%	44,17%	34,51%	49,10%	47,10%	40,14%	37,98%	38,47%	44,61%	42,34%
4	40,22%	36,03%	37,13%	41,79%	44,77%	39,99%	40,73%	47,61%	39,31%	36,65%	45,29%	46,38%	41,37%
5	44,55%	35,02%	42,98%	36,20%	37,00%	36,88%	37,39%	44,13%	40,72%	40,32%	38,16%	38,27%	39,35%
6	36,97%	38,74%	41,07%	41,35%	41,40%	36,25%	35,57%	40,95%	38,33%	40,81%	45,49%	39,64%	39,71%
7	43,79%	47,67%	41,39%	38,26%	41,36%	41,90%	48,78%	47,21%	45,20%	40,27%	45,55%	44,79%	43,83%
8	40,73%	39,36%	42,99%	43,19%	40,12%	40,89%	46,54%	43,59%	39,99%	42,61%	43,81%	44,32%	42,37%
9	54,15%	52,97%	43,23%	52,46%	53,88%	47,86%	53,02%	51,39%	43,85%	46,45%	50,91%	52,76%	50,24%
10	59,25%	56,33%	47,94%	53,41%	51,86%	55,79%	52,46%	54,05%	51,29%	52,59%	52,87%	56,97%	53,72%
11	58,34%	59,51%	56,89%	55,79%	55,52%	57,48%	54,00%	56,13%	50,09%	50,63%	53,09%	59,43%	55,56%
12	55,86%	53,52%	53,41%	51,15%	54,63%	51,86%	52,87%	56,89%	54,59%	53,32%	53,94%	56,38%	54,05%
13	55,86%	52,46%	54,34%	55,26%	54,73%	54,56%	52,10%	59,19%	54,03%	53,00%	53,22%	57,15%	54,68%
14	53,71%	54,37%	51,45%	51,68%	48,40%	52,26%	52,71%	56,40%	51,55%	52,19%	48,55%	54,24%	52,29%
15	57,80%	50,52%	45,47%	48,29%	44,19%	52,34%	52,76%	52,36%	48,89%	50,69%	45,21%	48,84%	49,79%
16	51,07%	52,24%	45,25%	49,63%	47,27%	47,72%	48,88%	48,90%	45,08%	45,14%	49,42%	49,15%	48,28%
17	48,97%	49,39%	48,00%	48,35%	48,22%	46,79%	48,55%	48,74%	47,76%	46,34%	45,04%	50,28%	48,04%
18	53,25%	50,63%	47,73%	50,89%	48,95%	54,25%	53,37%	51,87%	49,44%	53,06%	49,68%	55,98%	51,61%
19	58,29%	50,99%	49,99%	51,91%	48,51%	52,48%	51,32%	49,97%	52,11%	49,91%	50,07%	55,87%	51,79%
20	56,97%	54,57%	55,70%	51,87%	53,29%	55,05%	55,39%	49,69%	52,75%	54,32%	52,60%	52,33%	53,71%
21	57,11%	56,17%	50,42%	56,00%	50,14%	54,62%	55,83%	56,18%	50,06%	53,09%	49,55%	52,54%	53,46%
22	63,54%	65,88%	63,70%	63,36%	67,13%	68,51%	65,50%	66,06%	58,63%	63,39%	61,98%	65,02%	64,39%
23	61,77%	62,89%	56,49%	61,12%	61,18%	67,87%	67,67%	62,92%	57,48%	57,65%	55,29%	60,46%	61,06%
MEDIA	52,40%	50,53%	48,36%	49,62%	49,22%	50,45%	51,29%	52,26%	48,36%	48,58%	49,01%	51,81%	50,16%

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4.- Planificación de las necesidades de personal del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

El tiempo medio de ocupación es del 50,16% e inferior al 67% en todos los casos, y aunque puede parecer una ociosidad alta de los recursos, si se quiere ofrecer un nivel de servicio de alta calidad (en el sentido de una espera muy corta) es ineludible que los teleoperadores puedan estar disponibles buena parte de su tiempo.

Tabla 4.10: Llamadas en tiempo objetivo de Teleoperador con M/M/S en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

Franja	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	Sep	oct	nov	dic	media
0	83,80%	88,50%	86,30%	90,10%	88,30%	84,70%	88,00%	91,40%	91,40%	91,50%	86,00%	88,50%	88,21%
1	87,90%	90,70%	90,90%	92,30%	93,60%	89,30%	90,80%	81,70%	89,60%	91,60%	84,50%	84,20%	88,91%
2	92,20%	89,90%	91,30%	88,10%	90,00%	85,70%	93,60%	91,00%	88,00%	88,90%	92,10%	93,90%	90,42%
3	88,80%	90,40%	92,90%	92,20%	85,10%	95,70%	86,70%	88,30%	93,00%	94,00%	93,80%	89,90%	90,87%
4	92,80%	95,00%	94,40%	92,00%	84,50%	92,90%	92,60%	88,00%	93,50%	94,70%	84,20%	88,60%	91,07%
5	90,00%	95,40%	86,10%	95,10%	90,40%	94,70%	94,30%	90,50%	88,00%	88,20%	89,70%	94,00%	91,33%
6	94,60%	93,70%	87,70%	87,70%	87,10%	95,00%	95,20%	92,50%	89,50%	87,90%	84,10%	93,30%	90,68%
7	90,80%	87,90%	92,20%	94,10%	92,40%	92,00%	87,20%	88,40%	84,50%	92,90%	89,40%	90,00%	90,17%
8	93,20%	93,94%	91,71%	89,30%	93,51%	93,00%	89,59%	89,16%	93,46%	89,81%	89,03%	91,09%	91,38%
9	90,47%	87,82%	94,56%	84,50%	83,33%	91,82%	87,84%	88,84%	94,10%	92,52%	89,40%	89,78%	89,59%
10	86,07%	87,09%	91,96%	87,44%	89,12%	85,54%	90,35%	89,14%	89,46%	90,11%	89,81%	88,69%	88,75%
11	87,08%	84,25%	84,72%	87,49%	86,18%	85,94%	89,34%	88,46%	93,06%	92,76%	89,70%	88,58%	88,15%
12	90,35%	90,52%	87,84%	92,46%	87,91%	91,93%	90,99%	88,03%	88,61%	89,38%	87,62%	89,97%	89,62%
13	88,87%	91,49%	87,32%	86,40%	87,00%	86,94%	91,83%	84,73%	87,48%	90,00%	88,28%	87,54%	88,14%
14	89,40%	88,91%	89,66%	89,38%	91,72%	88,92%	90,34%	85,48%	89,48%	88,50%	91,64%	89,13%	89,38%
15	85,81%	89,30%	93,32%	91,66%	94,14%	88,68%	88,24%	88,38%	91,08%	89,84%	93,46%	92,76%	90,56%
16	91,17%	87,94%	93,44%	88,93%	89,84%	89,40%	91,08%	90,86%	93,56%	93,56%	88,49%	92,51%	90,93%
17	92,58%	92,27%	91,52%	91,20%	89,24%	92,46%	91,32%	91,26%	89,58%	92,72%	93,44%	91,69%	91,60%
18	91,03%	91,42%	91,70%	89,38%	90,98%	86,84%	87,68%	88,76%	90,62%	87,64%	90,62%	87,16%	89,47%
19	86,97%	92,50%	89,70%	88,14%	91,30%	87,94%	91,11%	92,08%	88,80%	92,04%	89,86%	87,40%	89,81%
20	87,97%	89,73%	87,13%	90,68%	87,64%	87,65%	87,88%	92,32%	90,02%	88,67%	90,06%	91,77%	89,29%
21	89,32%	88,40%	92,93%	86,65%	91,69%	89,90%	87,15%	86,98%	91,90%	89,20%	92,15%	91,37%	89,81%
22	89,80%	85,70%	86,10%	88,40%	82,10%	82,60%	86,50%	86,00%	91,00%	86,30%	85,30%	86,60%	86,37%
23	87,80%	84,10%	90,30%	86,20%	88,40%	80,90%	81,50%	87,00%	89,80%	89,40%	91,20%	86,90%	86,98%
Media	89,53%	89,87%	90,24%	89,58%	88,98%	89,19%	89,63%	88,72%	90,40%	90,51%	89,33%	89,81%	89,65%

Fuente: Elaboración propia.

Se consigue que casi el 90% de las llamadas sean atendidas en el objetivo, cifra que mejora el 70% actual.

Se ha conseguido, por tanto, un cálculo de necesidades que reduce los recursos en un 4,4%, mejora el tiempo de respuesta un 38% y el nivel de servicio en un 23%.

A continuación se realiza el cálculo considerando que en todas las franjas horarias los puestos son polivalentes y se compara con la programación real expuesta en el capítulo 1, exponiéndose las diferencias en la tabla 4.11.

Capítulo 4.- Planificación de las necesidades de personal del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

Tabla 4.11: Variación potencial de necesidades de Operadores con polivalencia total con M/M/S en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

franja	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	media
0	0	0	1	0	0	0	-1	-1	0	0	1	-1	-0,08
1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	2	1	1,00
2	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	1,67
3	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2,08
4	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	3	2	2,17
5	2	2	3	2	3	2	2	2	3	3	3	2	2,42
6	2	2	3	3	3	2	2	2	3	3	3	2	2,50
7	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1,08
8	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	1	1	1,25
9	-2	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	-0,74	0,19
10	0	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1	-0,74	1,11
11	-1	0	1	1	2	1	1	0	1	1	1	-1,74	0,52
12	1	2	3	2	2	2	2	1	2	2	3	1,26	1,94
13	1	2	3	3	3	3	2	2	3	2	3	1,26	2,36
14	2	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2,26	2,69
15	1	2	3	2	3	2	2	2	2	2	3	2,26	2,19
16	0,26	1,29	2,29	2,3	2,26	2,3	1,29	1,26	2	2	2	1	1,69
17	1,26	1,29	1,29	1,3	2,26	2,3	1,29	1,26	2	2	2	1	1,60
18	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3,67
19	2	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	3,58
20	0	0	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1,00
21	-1	0	1	1	2	0	1	1	2	1	2	1	0,92
22	-1,26	-0,29	0,71	-0,3	0,74	-0,3	-0,29	0	1	1	2	0	0,25
23	1,03	2	2	2	1	1	1	2	3	3	3	3	2,00
media	0,76	1,35	2,01	1,85	2,14	1,64	1,35	1,52	2,04	1,92	2,17	1,16	1,66

Rojo= Defecto de personas; Amarillo= Exceso de personas; Verde=Equilibrio
Fuente: Elaboración propia.

Es necesario disponer de teleoperadores con ocupación no superior al 67% para poder atender las llamadas con el nivel de servicio deseado y separar las funciones conlleva unos mayores tiempos ociosos para cada tipo de puesto. Los resultados obtenidos en la tabla 4.11, salvo excepciones en franjas de meses de alta actividad, muestran un exceso de recursos equivalente a 1,66 persona por franja y día que suponen algo más de 14.500 horas, que a un precio de 20 euros genera un ahorro potencial de algo más de 290.000 euros.

4.4.1.2 Plantilla óptima de Médicos Coordinadores según el modelo M/M/S

La tabla 4.12 a continuación muestra el cálculo de las necesidades para los médicos coordinadores aplicando el modelo de colas M/M/S

Capítulo 4.- Planificación de las necesidades de personal del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

Tabla 4.12: Necesidades de Médico Coordinador con M/M/S en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

franja	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	media
0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2,92
1	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2	3	2,25
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2,00
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2,00
4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2,00
5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2,00
6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2,00
7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2,00
8	3	3	3	2	3	3	3	2	3	2	2	3	2,67
9	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3,17
10	4	4	3	3	3	3	4	4	3	4	4	4	3,58
11	4	4	3	4	3	4	4	4	3	4	4	5	3,83
12	4	4	3	4	3	4	4	4	4	3	3	4	3,67
13	4	4	3	3	3	3	4	4	3	4	3	4	3,50
14	4	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3,33
15	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3,17
16	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3,17
17	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3,25
18	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3,25
19	4	4	3	4	3	3	4	4	3	4	3	4	3,58
20	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3,92
21	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,08
22	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4	3,83
23	4	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3,25
MEDIA	3,38	3,17	2,83	2,92	2,79	2,96	3,17	3,04	2,83	2,96	2,79	3,38	3,02

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.13 se muestra la diferencia entre las necesidades de médico coordinador calculadas por el modelo y la situación real expuesta en el capítulo 1.

Capítulo 4.- Planificación de las necesidades de personal del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

Tabla 4.13: Diferencias de necesidades de Médico Coordinador por M/M/S comparado con la programación observada en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

franja	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Media
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,08
1	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	-1	-0,25
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
8	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	0	-1	0	0	-1	-0,67
9	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-1,17
10	-1	-1	0	0	0	0	-1	-1	0	-1	-1	-1	-0,58
11	-1	-1	0	-1	0	-1	-1	-1	0	-1	-1	-2	-0,83
12	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0,33
13	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0,50
14	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0,67
15	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0,83
16	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0,83
17	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0,75
18	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0,75
19	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0,42
20	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0,08
21	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,08
22	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0,17
23	-1	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	-0,25
MEDIA	-0,29	-0,08	0,25	0,17	0,29	0,13	-0,08	0,04	0,25	0,13	0,29	-0,29	0,06

Rojo= Exceso de personas; Amarillo= Defecto de personas; Verde=Equilibrio
Fuente: Elaboración propia.

Se observa globalmente un mínimo exceso de recursos (0,06), dándose una mayor necesidad de médicos en las franjas de 8 a 11 (entre 1 y 2), y por el contrario, un menor necesidad en las franjas de 14 a 18 (1).

El cálculo de las medidas de rendimiento ASA, porcentaje de ocupación y porcentaje de llamadas incluidas en el objetivo se muestran en las tablas 4.14, 4.15 y 4.16.

Capítulo 4.- Planificación de las necesidades de personal del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

Tabla 4.14: *Average Speed of Answer* medio Médico Coordinador con M/M/S en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

franja	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	media
0	7,30	4,60	3,12	3,64	4,94	4,91	9,42	7,21	4,17	3,82	19,54	10,27	6,92
1	18,46	15,42	15,00	12,70	10,72	18,17	3,39	3,16	15,85	13,53	9,53	3,20	11,54
2	13,88	7,19	7,79	7,19	7,00	8,90	10,97	13,07	8,71	7,82	5,89	12,51	9,28
3	8,42	8,00	5,89	5,43	3,57	3,42	7,77	8,25	5,13	4,38	4,15	7,60	6,00
4	5,73	4,27	3,83	4,40	3,29	5,53	4,97	6,67	4,15	3,93	3,72	7,82	4,87
5	6,56	4,15	3,11	3,07	2,35	4,27	4,77	6,41	2,85	3,20	2,85	4,57	4,02
6	4,57	4,31	2,61	2,37	3,20	3,32	3,17	5,36	2,94	2,32	3,58	4,18	3,49
7	5,54	6,88	6,23	4,43	4,73	6,09	7,02	6,58	3,69	5,53	6,88	6,48	5,84
8	3,17	3,42	3,87	19,05	2,88	2,99	4,89	17,23	3,16	16,65	17,47	4,43	8,28
9	8,69	16,15	7,28	7,28	7,84	10,93	15,53	15,09	8,79	11,00	15,27	3,85	10,60
10	12,24	6,04	10,12	16,37	10,43	16,37	4,05	4,53	10,98	4,18	3,66	13,18	9,34
11	15,64	6,31	17,05	4,41	13,40	5,41	3,99	5,88	17,90	3,41	3,56	4,74	8,50
12	8,68	5,09	14,76	3,99	16,50	3,99	4,82	5,70	3,91	16,80	11,34	8,68	8,75
13	7,48	4,53	12,59	14,76	12,86	12,06	4,05	5,44	13,07	3,50	11,83	6,59	9,06
14	4,73	4,86	11,30	12,26	9,98	13,28	3,66	14,29	12,07	15,35	9,57	4,77	9,69
15	6,30	15,35	9,06	10,52	8,05	13,14	14,24	14,53	11,83	13,05	8,43	3,88	10,66
16	4,54	17,26	8,47	9,12	7,00	7,28	11,28	12,92	8,47	7,86	7,56	3,88	8,74
17	3,59	3,73	12,28	13,18	6,73	10,21	11,72	11,28	7,53	10,55	9,81	3,73	8,72
18	9,56	4,36	12,23	14,71	12,67	17,64	14,37	14,52	13,21	17,00	12,27	5,70	12,40
19	11,42	8,87	16,41	3,43	11,83	17,62	3,98	3,77	13,14	3,88	14,71	6,13	9,58
20	13,18	12,74	7,39	4,32	15,53	7,09	5,89	3,88	4,89	5,93	5,09	7,93	7,81
21	4,50	12,74	7,68	7,64	4,89	11,42	6,66	6,30	4,04	6,15	4,35	10,29	7,18
22	11,45	9,46	4,24	7,21	5,20	9,14	6,59	6,04	13,47	3,97	11,47	7,73	7,96
23	4,07	13,45	9,67	11,58	18,19	5,27	4,45	17,54	7,41	8,80	5,99	10,52	9,74
MEDIA	8,32	8,30	8,83	8,46	8,49	9,10	7,15	8,99	8,39	8,03	8,69	6,78	8,29

Fuente: Elaboración propia.

El ASA medio es algo más de 8 segundos, y siempre inferior a 20 segundos.

Tabla 4.15: Porcentaje de ocupación de Médico Coordinador con M/M/S en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

Franja	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	media
0	36,17%	31,37%	27,33%	29,56%	32,50%	32,72%	40,81%	37,69%	30,59%	29,37%	37,69%	39,70%	33,82%
1	37,06%	34,13%	33,33%	31,67%	29,56%	35,88%	29,04%	28,52%	34,42%	31,25%	28,00%	26,89%	31,61%
2	31,50%	24,67%	24,79%	24,67%	23,96%	26,92%	31,17%	31,94%	26,22%	25,33%	22,17%	30,50%	27,03%
3	25,42%	25,00%	22,17%	21,58%	17,42%	17,67%	26,25%	26,75%	21,19%	19,17%	19,32%	25,11%	22,26%
4	21,97%	19,50%	18,33%	20,63%	16,96%	20,67%	21,46%	25,00%	19,32%	18,50%	18,17%	25,33%	20,50%
5	22,94%	19,32%	16,65%	17,51%	14,72%	19,50%	20,22%	23,78%	16,19%	16,81%	16,19%	20,42%	18,70%
6	20,42%	20,03%	15,74%	15,67%	16,81%	17,50%	17,69%	22,44%	16,35%	15,13%	18,42%	19,83%	18,00%
7	23,14%	25,25%	23,56%	21,11%	21,56%	23,85%	25,86%	25,33%	19,06%	22,67%	24,79%	24,32%	23,37%
8	29,28%	29,85%	30,56%	39,67%	28,33%	28,61%	33,70%	38,50%	28,52%	38,11%	39,07%	32,39%	33,07%
9	47,44%	48,89%	38,52%	38,52%	39,48%	43,59%	48,44%	47,87%	40,37%	43,17%	47,26%	38,79%	43,50%
10	50,94%	43,43%	42,78%	48,56%	43,33%	48,56%	39,72%	40,85%	43,40%	39,47%	38,54%	51,72%	44,28%
11	54,68%	45,00%	50,00%	40,44%	47,22%	42,25%	40,38%	44,48%	51,04%	38,28%	38,64%	45,81%	44,87%
12	48,29%	42,69%	48,09%	39,75%	50,07%	39,75%	42,50%	44,35%	39,75%	50,06%	45,37%	48,29%	44,97%
13	46,32%	41,79%	46,75%	48,09%	46,76%	45,82%	41,09%	43,92%	47,60%	38,65%	45,83%	45,42%	44,84%
14	41,22%	41,63%	44,89%	45,78%	43,56%	46,67%	39,34%	49,26%	46,28%	48,55%	43,11%	41,63%	44,34%
15	44,33%	48,55%	41,41%	43,19%	40,21%	45,83%	48,58%	48,15%	44,19%	46,00%	40,44%	39,36%	44,16%
16	40,00%	49,91%	40,00%	40,74%	38,15%	38,28%	44,17%	46,13%	40,24%	39,26%	38,64%	38,51%	41,12%
17	37,86%	38,19%	44,59%	45,11%	37,30%	42,14%	44,58%	44,17%	38,35%	42,22%	41,48%	38,19%	41,20%
18	47,46%	39,67%	44,04%	46,58%	44,42%	49,17%	47,56%	47,44%	45,39%	48,48%	44,33%	42,00%	45,58%
19	50,03%	46,53%	48,07%	36,97%	43,94%	49,41%	39,24%	38,96%	45,83%	38,33%	46,58%	43,21%	43,90%
20	51,72%	50,79%	44,58%	39,93%	48,44%	44,00%	43,54%	39,36%	40,83%	42,53%	41,00%	46,01%	44,38%
21	44,65%	51,18%	45,14%	45,64%	40,83%	50,03%	44,69%	44,33%	38,84%	42,88%	39,29%	48,39%	44,62%
22	48,67%	46,96%	38,52%	43,76%	40,63%	46,62%	44,06%	43,43%	44,81%	37,58%	42,00%	44,40%	43,42%
23	37,38%	43,67%	39,11%	41,81%	47,28%	39,72%	39,11%	48,57%	37,15%	38,50%	33,83%	40,83%	40,58%
MEDIA	39,12%	37,83%	36,21%	36,12%	35,56%	37,30%	37,22%	38,80%	35,66%	35,43%	35,42%	37,38%	36,84%

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 4.- Planificación de las necesidades de personal del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

El tiempo medio de ocupación es del 36,84% e inferior al 56% en todos los casos. Aunque puede parecer una ociosidad alta de los recursos, si se quiere ofrecer un nivel de servicio de alta calidad (en el sentido de una espera muy corta) es ineludible que los médicos puedan estar disponibles buena parte de su tiempo.

Tabla 4.16: Llamadas en tiempo objetivo de Médico Coordinador con M/M/S en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

franja	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Media
0	90,90%	93,70%	95,60%	94,70%	93,20%	93,10%	87,90%	90,20%	94,20%	94,70%	82,00%	88,40%	91,54%
1	82,60%	85,00%	85,60%	87,00%	88,50%	83,50%	95,00%	95,20%	84,70%	87,10%	89,60%	95,70%	88,34%
2	86,90%	91,80%	91,60%	91,80%	92,20%	90,30%	87,60%	86,70%	90,70%	91,40%	93,30%	87,70%	90,14%
3	91,20%	91,50%	93,30%	93,60%	95,70%	95,70%	90,90%	90,60%	93,90%	94,90%	94,90%	91,50%	93,14%
4	93,40%	94,80%	95,30%	94,30%	96,00%	94,00%	93,80%	91,80%	94,90%	95,20%	95,40%	91,40%	94,18%
5	92,80%	94,90%	96,10%	95,80%	96,90%	94,80%	94,30%	92,40%	96,30%	96,00%	96,30%	94,30%	95,07%
6	94,30%	94,50%	96,50%	96,60%	96,00%	95,80%	95,70%	93,30%	96,30%	96,80%	95,30%	94,60%	95,48%
7	92,90%	91,60%	92,60%	94,10%	93,80%	92,50%	91,30%	91,60%	95,10%	93,10%	91,80%	92,10%	92,71%
8	95,00%	94,70%	94,30%	80,70%	95,40%	95,30%	92,70%	81,80%	95,20%	82,20%	81,40%	93,40%	90,16%
9	88,00%	81,20%	89,80%	89,80%	89,10%	85,90%	81,70%	82,20%	88,30%	86,20%	82,60%	93,70%	86,58%
10	84,90%	91,00%	86,60%	81,40%	86,20%	81,40%	93,30%	92,70%	86,00%	93,40%	93,90%	84,20%	87,92%
11	81,50%	90,10%	80,20%	92,90%	83,00%	91,70%	93,10%	90,60%	79,30%	94,10%	93,90%	92,60%	88,56%
12	87,60%	91,70%	82,10%	93,30%	80,30%	93,30%	91,90%	90,70%	93,40%	80,20%	84,70%	87,60%	88,00%
13	89,00%	92,30%	83,50%	82,10%	83,40%	84,30%	92,80%	91,00%	82,80%	94,00%	84,30%	89,80%	87,45%
14	92,40%	92,20%	85,00%	84,20%	86,20%	83,40%	93,60%	81,40%	84,00%	81,60%	86,60%	92,30%	86,89%
15	90,50%	81,60%	87,70%	86,30%	88,70%	84,00%	81,90%	82,10%	85,30%	83,90%	88,40%	93,50%	86,20%
16	93,00%	80,30%	88,60%	88,00%	90,00%	89,90%	85,50%	83,80%	88,50%	89,20%	89,60%	93,80%	88,41%
17	94,20%	94,00%	85,00%	84,40%	90,50%	87,00%	85,10%	85,50%	89,80%	86,80%	87,50%	94,00%	88,62%
18	87,80%	93,20%	85,30%	83,10%	85,00%	80,70%	82,50%	82,60%	84,30%	81,30%	85,10%	91,70%	85,17%
19	85,70%	88,50%	81,80%	94,60%	85,50%	80,60%	93,50%	93,70%	84,00%	93,90%	83,10%	91,00%	88,01%
20	84,20%	84,90%	90,00%	93,10%	81,70%	90,30%	91,00%	93,50%	92,50%	91,40%	92,40%	89,10%	89,52%
21	93,20%	84,60%	89,60%	89,30%	92,50%	85,70%	90,20%	90,50%	93,60%	91,20%	93,40%	87,00%	90,11%
22	86,60%	88,10%	93,70%	90,40%	92,50%	88,40%	90,50%	91,00%	84,60%	94,10%	86,80%	90,00%	89,76%
23	94,20%	85,30%	88,80%	86,90%	82,00%	92,90%	93,40%	81,20%	90,40%	89,30%	92,30%	87,70%	88,71%
MEDIA	89,70%	89,65%	89,11%	89,52%	89,35%	88,94%	90,38%	88,59%	89,50%	90,08%	89,36%	91,13%	89,61%

Fuente: Elaboración propia

Se consigue que casi el 90% de las llamadas sean atendidas en el objetivo.

4.4.2 Modelo M/M/S+k

La prueba preliminar a realizar para poder aplicar el modelo M/M/S+k es asumir que la impaciencia es exponencial tal como se explicó en la metodología, y aunque en el capítulo 2 se observó que esa hipótesis no era del todo asumible, se han hecho pruebas con el contraste de Kolmogorov-Smirnov de la función de riesgo de las llamadas perdidas hasta 49 segundos (tabla 4.17).

Tabla 4.17: Prueba de Kolmogorov-Smirnov de la función de riesgo para Llamadas perdidas hasta 49 segundos en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

N		49
Parámetro exponencial.	Media	2,8087
Diferencias más extremas	Absoluta	,191
	Positiva	,191
	Negativa	-.106
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,338
Sig. asintót. (bilateral)		,056

Fuente: Elaboración propia

Se puede concluir que la impaciencia es exponencial para la atención a la llamada hasta ese nivel de espera. Dado que el umbral se ha fijado en 60 segundos, y en el intervalo 50-60 segundos el riesgo se incrementa desmesuradamente, siendo el número de llamadas perdidas muy pequeño como se mostró en los capítulos 1 y 2, es posible considerar ese

Capítulo 4.- Planificación de las necesidades de personal del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

intervalo como una anomalía que distorsionaría muy poco las medidas de desempeño del modelo M/M/S+k.

4.4.2.1 Plantilla óptima de Teleoperadores según el modelo M/M/S+k

Se asume el mismo dimensionamiento que en el modelo M/M/S para observar las variaciones en los indicadores de rendimiento y desempeño del sistema. Para este modelo no se mostrarán las tablas del ASA, que es de apenas 2 segundos. Sin embargo se mostrarán las tablas del porcentaje de llamadas perdidas, ya que es un hecho diferencial al considerar este modelo que si se pueden perder llamadas. En las tablas 4.18, 4.19 y 4.20 se muestran los porcentajes de ocupación, porcentaje de llamadas atendidas en tiempo objetivo, y porcentaje de llamadas perdidas.

Tabla 4.18: Porcentaje de ocupación de Teleoperador con M/M/S+k en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

franja	Ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Media
0	55,16%	51,73%	49,69%	50,52%	52,01%	54,91%	55,47%	52,30%	48,82%	48,82%	50,25%	54,56%	52,03%
1	48,59%	45,84%	45,36%	43,93%	42,19%	47,16%	49,76%	53,19%	46,87%	44,52%	46,66%	51,07%	47,12%
2	43,68%	41,84%	39,82%	43,33%	41,39%	45,71%	42,28%	45,53%	43,28%	42,80%	39,06%	41,46%	42,52%
3	42,59%	41,22%	37,96%	38,82%	39,57%	33,12%	44,76%	43,31%	37,93%	36,08%	36,57%	41,39%	39,46%
4	38,06%	34,52%	35,40%	39,13%	39,93%	37,96%	38,53%	43,76%	37,33%	34,99%	40,42%	42,87%	38,61%
5	41,46%	33,78%	38,84%	34,58%	34,24%	35,20%	35,67%	40,95%	36,99%	36,80%	35,02%	36,41%	36,70%
6	35,20%	36,70%	37,44%	37,52%	37,59%	34,62%	34,16%	38,53%	35,30%	36,99%	40,53%	37,64%	36,85%
7	40,88%	43,89%	38,84%	36,37%	39,04%	39,44%	44,61%	43,34%	40,37%	37,94%	42,14%	41,50%	40,68%
8	38,54%	37,40%	40,35%	39,62%	38,05%	38,74%	42,97%	40,07%	38,01%	39,24%	40,36%	41,25%	39,57%
9	50,88%	48,85%	41,30%	47,32%	48,31%	45,11%	48,97%	47,81%	42,00%	44,00%	47,49%	49,21%	46,77%
10	54,59%	51,87%	45,10%	49,26%	48,05%	50,99%	49,26%	50,48%	47,65%	49,30%	49,40%	53,19%	49,92%
11	54,13%	54,22%	51,80%	51,42%	50,89%	52,61%	50,29%	52,23%	47,55%	48,04%	49,40%	55,64%	51,51%
12	52,66%	50,40%	49,17%	48,47%	50,45%	49,11%	49,75%	52,74%	50,68%	49,67%	49,61%	52,77%	50,47%
13	52,12%	49,49%	50,00%	50,74%	50,22%	50,03%	49,30%	54,00%	49,80%	49,59%	49,31%	52,80%	50,63%
14	50,18%	50,57%	47,86%	47,95%	45,54%	48,45%	49,26%	51,45%	47,93%	48,28%	45,70%	50,56%	48,64%
15	52,95%	47,03%	43,29%	45,61%	42,31%	48,39%	48,77%	48,59%	45,95%	47,31%	42,95%	46,40%	46,64%
16	48,13%	48,21%	42,99%	45,91%	43,90%	44,23%	45,85%	45,80%	42,93%	42,88%	45,57%	46,68%	45,24%
17	46,57%	46,80%	45,23%	45,41%	44,60%	44,24%	45,72%	45,84%	44,46%	43,78%	42,95%	47,47%	45,25%
18	50,25%	47,65%	45,10%	47,42%	45,89%	49,80%	49,30%	48,05%	46,37%	49,00%	46,49%	51,70%	48,09%
19	53,95%	48,46%	46,59%	47,94%	45,62%	48,62%	48,44%	47,27%	48,26%	47,20%	46,81%	51,56%	48,40%
20	53,02%	51,20%	51,58%	48,65%	49,12%	51,00%	51,22%	47,02%	49,39%	50,53%	49,25%	49,51%	50,12%
21	53,56%	52,41%	47,93%	51,63%	47,37%	51,42%	51,56%	51,87%	47,35%	49,57%	46,87%	49,69%	50,09%
22	60,39%	61,25%	59,13%	59,69%	61,35%	63,15%	61,16%	61,60%	55,61%	58,87%	57,17%	60,64%	60,00%
23	57,77%	57,90%	53,16%	56,47%	57,46%	62,04%	61,84%	58,76%	54,08%	54,24%	52,44%	56,16%	56,86%
MEDIA	48,97%	47,22%	45,16%	46,15%	45,63%	46,92%	47,87%	48,52%	45,21%	45,44%	45,52%	48,42%	46,76%

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de ocupación es del 46,76%, oscilando entre el 33,12% y el 63,15% e inferior al 50,16% del modelo M/M/S, debido a que se producen abandonos de llamadas y ello implica menor ocupación. Recuérdese que el modelo M/M/S supone una paciencia infinita de los llamantes por lo que todas las llamadas recibidas se atenderían, de lo que deduce una mayor ocupación de los teleoperadores.

Capítulo 4.- Planificación de las necesidades de personal del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

Tabla 4.19: Porcentaje de llamadas en tiempo objetivo de Teleoperador con M/M/S+k en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

franja	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Media
0	91,26%	93,13%	91,74%	93,74%	93,01%	91,44%	93,18%	94,68%	94,49%	94,49%	91,46%	93,60%	93,02%
1	92,34%	93,71%	93,91%	94,56%	95,25%	93,08%	94,09%	89,70%	93,20%	94,28%	90,09%	90,93%	92,93%
2	94,63%	92,75%	93,70%	91,97%	92,95%	90,66%	95,23%	93,85%	91,98%	92,28%	94,05%	95,52%	93,31%
3	92,34%	93,04%	94,53%	94,17%	89,53%	96,36%	91,19%	91,99%	94,56%	95,29%	95,10%	92,95%	93,41%
4	94,49%	95,88%	95,55%	94,04%	89,29%	94,53%	94,30%	91,76%	94,82%	95,71%	89,00%	92,19%	93,45%
5	92,92%	96,13%	89,97%	95,88%	92,55%	95,64%	95,44%	93,19%	91,09%	91,17%	92,15%	95,18%	93,42%
6	95,64%	95,06%	90,82%	90,81%	90,68%	95,86%	96,01%	94,30%	91,99%	91,07%	88,94%	94,68%	92,98%
7	93,24%	91,68%	94,16%	95,21%	94,10%	93,90%	91,31%	92,00%	89,06%	94,56%	92,59%	92,93%	92,91%
8	94,51%	95,06%	93,62%	92,16%	94,65%	94,30%	92,46%	91,93%	94,63%	92,37%	91,77%	93,29%	93,38%
9	93,97%	92,43%	95,77%	90,08%	89,47%	94,25%	92,37%	92,92%	95,50%	94,70%	93,10%	93,43%	93,17%
10	92,05%	92,29%	94,27%	92,21%	92,78%	91,24%	93,57%	92,93%	93,00%	93,50%	93,28%	93,60%	92,90%
11	93,06%	90,93%	90,81%	92,30%	91,30%	91,73%	93,06%	93,02%	95,14%	94,95%	93,34%	93,36%	92,76%
12	93,90%	93,91%	92,31%	94,79%	92,64%	94,51%	94,21%	92,79%	92,72%	93,07%	91,98%	93,83%	93,38%
13	93,06%	94,35%	91,83%	91,43%	91,67%	91,72%	94,45%	91,00%	91,97%	93,30%	92,20%	92,73%	92,47%
14	93,16%	92,96%	92,98%	92,93%	94,09%	92,68%	93,54%	91,04%	92,95%	92,72%	94,00%	92,95%	93,00%
15	91,71%	93,22%	95,02%	94,03%	95,41%	92,69%	92,49%	92,56%	93,87%	93,23%	95,15%	94,92%	93,69%
16	94,15%	92,66%	95,12%	92,45%	93,20%	93,01%	93,92%	93,89%	95,15%	95,15%	92,47%	94,74%	93,84%
17	94,79%	94,66%	94,17%	94,08%	92,91%	94,61%	93,97%	93,92%	92,98%	94,81%	95,15%	94,29%	94,19%
18	94,25%	94,36%	94,23%	93,14%	93,88%	91,93%	92,20%	92,84%	93,66%	92,34%	93,60%	92,33%	93,22%
19	92,43%	95,09%	93,47%	92,79%	94,01%	92,50%	93,96%	94,52%	92,73%	94,48%	93,42%	92,45%	93,48%
20	93,01%	93,90%	92,43%	93,87%	92,29%	92,73%	92,66%	94,65%	93,54%	92,99%	93,58%	94,59%	93,35%
21	93,71%	93,30%	95,26%	92,38%	94,49%	93,81%	92,46%	92,31%	94,46%	93,45%	94,68%	94,58%	93,74%
22	94,73%	93,17%	92,91%	93,97%	91,62%	92,10%	93,26%	93,04%	94,65%	93,03%	92,26%	93,49%	93,18%
23	93,58%	91,82%	94,28%	92,65%	93,74%	91,17%	91,34%	93,11%	93,88%	93,77%	94,60%	92,82%	93,07%
MEDIA	93,45%	93,56%	93,45%	93,15%	92,73%	93,19%	93,36%	92,83%	93,42%	93,61%	92,83%	93,56%	93,26%

Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje de llamadas atendidas en tiempo objetivo es del 93,26%, con límites entre el 88,94% y el 96,36% y superior al 89,61% de M/M/S por las razones expuestas anteriormente.

Tabla 4.20: Porcentaje de llamadas perdidas de Teleoperador con M/M/S+k en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

franja	ene	feb	mar	abr	may	jun	Jul	ago	sep	oct	nov	dic	media
0	8,74%	6,87%	8,26%	6,26%	6,99%	8,55%	6,82%	5,32%	5,51%	5,51%	8,54%	6,40%	6,98%
1	7,66%	6,29%	6,09%	5,43%	4,75%	6,92%	5,91%	10,29%	6,79%	5,72%	9,91%	9,06%	7,07%
2	5,37%	7,25%	6,30%	8,03%	7,05%	9,33%	4,77%	6,15%	8,02%	7,72%	5,94%	4,48%	6,68%
3	7,66%	6,96%	5,47%	5,83%	10,47%	3,64%	8,81%	8,01%	5,44%	4,71%	4,90%	7,05%	6,59%
4	5,51%	4,12%	4,45%	5,96%	10,71%	5,47%	5,70%	8,24%	5,18%	4,29%	11,00%	7,81%	6,55%
5	7,08%	3,87%	10,03%	4,12%	7,45%	4,36%	4,56%	6,81%	8,91%	8,83%	7,85%	4,82%	6,58%
6	4,36%	4,94%	9,18%	9,19%	9,32%	4,13%	3,99%	5,70%	8,01%	8,93%	11,06%	5,32%	7,02%
7	6,76%	8,32%	5,84%	4,79%	5,90%	6,10%	8,69%	8,00%	10,94%	5,44%	7,40%	7,07%	7,09%
8	5,49%	4,94%	6,38%	7,84%	5,35%	5,70%	7,54%	8,07%	5,37%	7,63%	8,23%	6,71%	6,62%
9	6,03%	7,57%	4,23%	9,92%	10,53%	5,75%	7,63%	7,08%	4,50%	5,30%	6,89%	6,57%	6,83%
10	7,95%	7,71%	5,73%	7,79%	7,22%	8,76%	6,43%	7,06%	7,00%	6,50%	6,72%	6,40%	7,10%
11	6,94%	9,07%	9,19%	7,70%	8,70%	8,27%	6,94%	6,98%	4,86%	5,05%	6,66%	6,64%	7,24%
12	6,10%	6,09%	7,69%	5,20%	7,36%	5,49%	5,79%	7,21%	7,28%	6,93%	8,02%	6,17%	6,62%
13	6,94%	5,65%	8,17%	8,57%	8,33%	8,28%	5,55%	9,00%	8,03%	6,70%	7,80%	7,26%	7,53%
14	6,84%	7,04%	7,02%	7,07%	5,91%	7,32%	6,46%	8,96%	7,05%	7,28%	5,99%	7,05%	7,00%
15	8,29%	6,77%	4,98%	5,97%	4,59%	7,31%	7,51%	7,44%	6,13%	6,77%	4,85%	5,07%	6,31%
16	5,85%	7,34%	4,88%	7,55%	6,80%	6,99%	6,08%	6,11%	4,85%	4,85%	7,53%	5,26%	6,16%
17	5,21%	5,34%	5,83%	5,92%	7,09%	5,39%	6,03%	6,08%	7,02%	5,19%	4,85%	5,71%	5,81%
18	5,75%	5,64%	5,77%	6,86%	6,12%	8,07%	7,80%	7,16%	6,34%	7,66%	6,40%	7,67%	6,78%
19	7,57%	4,91%	6,53%	7,21%	5,99%	7,50%	6,04%	5,48%	7,27%	5,52%	6,58%	7,55%	6,52%
20	6,99%	6,10%	7,57%	6,13%	7,71%	7,27%	7,34%	5,35%	6,46%	7,01%	6,42%	5,41%	6,65%
21	6,29%	6,69%	4,74%	7,62%	5,51%	6,19%	7,54%	7,69%	5,54%	6,55%	5,31%	5,42%	6,26%
22	5,27%	6,83%	7,09%	6,03%	8,38%	7,90%	6,74%	6,96%	5,35%	6,97%	7,74%	6,51%	6,82%
23	6,42%	8,18%	5,72%	7,35%	6,26%	8,83%	8,66%	6,89%	6,12%	6,23%	5,40%	7,18%	6,93%
media	6,54%	6,44%	6,55%	6,85%	7,27%	6,81%	6,64%	7,17%	6,58%	6,39%	7,17%	6,44%	6,74%

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4.- Planificación de las necesidades de personal del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

El porcentaje de llamadas perdidas se sitúa en el 6,74%, oscilando entre el 3,64% y el 11,06%, e inferior al 12,7% observado en la realidad (capítulo 1).

4.4.2.2 Plantilla óptima de Médicos Coordinadores según el modelo M/M/S+k

Se asume el mismo dimensionamiento que en el modelo M/M/S para observar las variaciones en los indicadores de rendimiento y desempeño del sistema. Para este modelo no se mostrarán las tablas del ASA, que es de apenas 3 segundos. Sin embargo se mostrarán las tablas del porcentaje de llamadas perdidas, ya que es un hecho diferencial al considerar este modelo que si se pueden perder llamadas. En las tablas 4.21, 4.22 y 4.23 se muestran los porcentajes de ocupación, porcentaje de escuchas atendidas en tiempo objetivo, y porcentaje de escuchas perdidas.

Tabla 4.21: Porcentaje de ocupación de Médico Coordinador con M/M/S+k en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

franja	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Media
0	34,69%	30,46%	26,76%	28,83%	31,49%	31,70%	38,72%	36,09%	29,77%	28,64%	34,40%	37,66%	32,46%
1	33,92%	31,58%	30,92%	29,59%	27,83%	32,93%	28,36%	27,89%	31,81%	29,17%	26,51%	26,33%	29,72%
2	29,38%	23,61%	23,69%	23,61%	22,96%	25,56%	29,26%	29,81%	24,94%	24,18%	21,36%	28,57%	25,61%
3	24,22%	23,87%	21,36%	20,85%	17,00%	17,25%	25,03%	25,45%	20,50%	18,63%	18,78%	23,99%	21,41%
4	21,19%	18,95%	17,86%	20,00%	16,58%	19,98%	20,75%	23,95%	18,78%	18,02%	17,71%	24,18%	19,85%
5	22,05%	18,78%	16,29%	17,12%	14,47%	18,95%	19,60%	22,83%	15,87%	16,44%	15,87%	19,80%	18,18%
6	19,80%	19,45%	15,44%	15,38%	16,44%	17,10%	17,29%	21,66%	16,01%	14,86%	17,96%	19,27%	17,55%
7	22,29%	24,16%	22,64%	20,46%	20,86%	22,92%	24,72%	24,26%	18,56%	21,85%	23,74%	23,33%	22,48%
8	28,61%	29,13%	29,76%	36,11%	27,74%	27,99%	32,62%	35,24%	27,89%	34,94%	35,71%	31,44%	31,44%
9	45,29%	45,26%	36,84%	36,84%	37,67%	41,08%	44,93%	44,47%	38,38%	40,69%	43,92%	37,81%	41,08%
10	48,08%	41,90%	40,43%	44,95%	40,89%	44,95%	38,67%	39,67%	40,90%	38,42%	37,60%	48,68%	42,10%
11	51,05%	43,31%	46,14%	39,30%	44,05%	40,87%	39,29%	42,89%	46,96%	37,38%	37,70%	44,55%	42,80%
12	46,05%	41,32%	44,69%	38,70%	46,25%	38,70%	41,18%	42,78%	38,71%	46,21%	42,62%	46,05%	42,82%
13	44,39%	40,55%	43,71%	44,69%	43,70%	42,95%	39,96%	42,42%	44,42%	37,72%	42,98%	43,66%	42,60%
14	39,99%	40,35%	42,19%	42,89%	41,13%	43,58%	38,35%	45,75%	43,35%	45,03%	40,78%	40,37%	41,99%
15	42,70%	45,03%	39,29%	40,75%	38,31%	42,86%	45,16%	44,76%	41,53%	43,01%	38,48%	38,35%	41,67%
16	38,87%	46,04%	38,08%	38,69%	36,53%	36,62%	41,55%	43,14%	38,30%	37,46%	36,93%	37,55%	39,11%
17	36,96%	37,26%	41,84%	42,22%	35,78%	39,84%	41,88%	41,55%	36,67%	39,89%	39,29%	37,26%	39,22%
18	45,22%	38,58%	41,36%	43,38%	41,65%	45,38%	44,26%	44,14%	42,46%	44,84%	41,61%	40,61%	42,82%
19	47,35%	44,44%	44,54%	36,14%	41,31%	45,59%	38,22%	37,98%	42,86%	37,38%	43,38%	41,68%	41,71%
20	48,68%	47,90%	42,81%	38,83%	44,93%	42,31%	42,02%	38,35%	39,61%	41,08%	39,75%	44,06%	42,51%
21	43,49%	48,24%	43,30%	43,76%	39,61%	47,35%	42,99%	42,70%	37,84%	41,37%	38,23%	45,98%	42,87%
22	46,13%	44,78%	37,51%	42,09%	39,38%	44,50%	42,42%	41,90%	41,94%	36,66%	39,61%	42,62%	41,60%
23	36,45%	40,93%	37,17%	39,43%	43,73%	38,54%	38,05%	44,88%	35,58%	36,69%	32,64%	38,65%	38,56%
media	37,37%	36,08%	34,36%	34,36%	33,76%	35,40%	35,64%	36,86%	33,90%	33,77%	33,65%	35,94%	35,09%

Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje de ocupación medio es del 35,09%, oscilando entre el 14,47% y el 51,05% e inferior al 36,84% del modelo M/M/S debido a que se producen perdidas de escuchas y ello implica menor ocupación.

Capítulo 4.- Planificación de las necesidades de personal del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

Tabla 4.22: Porcentaje de escuchas en tiempo objetivo de Médico Coordinador con M/M/S+k en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

franja	ene	feb	mar	Abr	may	jun	jul	ago	Sep	oct	nov	dic	media
0	95,13%	96,55%	97,50%	97,09%	96,31%	96,29%	93,91%	94,96%	96,79%	97,04%	89,63%	93,86%	95,42%
1	89,96%	91,15%	91,40%	92,21%	93,08%	90,28%	97,23%	97,38%	91,00%	92,14%	93,67%	97,52%	93,12%
2	92,02%	94,90%	94,72%	94,90%	95,08%	94,03%	92,71%	92,08%	94,22%	94,61%	95,70%	92,50%	93,94%
3	94,44%	94,63%	95,70%	95,94%	97,18%	97,20%	94,45%	94,23%	96,09%	96,65%	96,70%	94,70%	95,66%
4	95,78%	96,64%	96,96%	96,42%	97,34%	96,07%	96,10%	94,99%	96,70%	96,90%	97,02%	94,61%	96,29%
5	95,38%	96,70%	97,45%	97,35%	97,98%	96,64%	96,36%	95,27%	97,60%	97,40%	97,60%	96,40%	96,84%
6	96,40%	96,54%	97,75%	97,86%	97,40%	97,25%	97,29%	95,82%	97,55%	97,94%	97,03%	96,62%	97,12%
7	95,65%	94,88%	95,37%	96,34%	96,17%	95,36%	94,74%	94,96%	96,90%	95,73%	94,96%	95,16%	95,52%
8	97,31%	97,15%	96,90%	89,30%	97,52%	97,44%	96,20%	89,89%	97,38%	90,09%	89,73%	96,51%	94,61%
9	94,61%	91,14%	94,84%	94,84%	94,54%	93,13%	91,34%	91,52%	94,14%	93,16%	91,57%	97,03%	93,51%
10	93,30%	95,83%	93,46%	91,14%	93,30%	91,14%	96,88%	96,60%	93,14%	96,85%	97,13%	92,99%	94,31%
11	92,09%	95,60%	90,79%	96,68%	92,01%	96,16%	96,86%	95,80%	90,46%	97,26%	97,17%	96,76%	94,79%
12	94,52%	96,24%	91,56%	96,91%	90,90%	96,91%	96,36%	95,88%	96,94%	90,83%	92,79%	94,52%	94,50%
13	95,09%	96,53%	92,28%	91,56%	92,21%	92,54%	96,79%	96,01%	92,05%	97,19%	92,60%	95,47%	94,20%
14	96,50%	96,41%	92,86%	92,49%	93,40%	92,11%	97,08%	91,53%	92,48%	91,36%	93,58%	96,45%	93,85%
15	95,66%	91,36%	93,93%	93,29%	94,39%	92,26%	91,62%	91,61%	92,81%	92,26%	94,24%	96,98%	93,39%
16	96,67%	90,76%	94,28%	94,00%	94,97%	94,86%	92,96%	92,27%	94,25%	94,56%	94,73%	97,04%	94,31%
17	97,21%	97,13%	92,64%	92,35%	95,16%	93,51%	92,78%	92,96%	94,77%	93,41%	93,71%	97,13%	94,38%
18	94,38%	96,76%	92,74%	91,79%	92,58%	90,79%	91,73%	91,71%	92,31%	91,03%	92,68%	96,08%	92,86%
19	93,61%	94,67%	91,21%	97,34%	92,84%	90,76%	96,95%	97,05%	92,26%	97,05%	91,79%	95,82%	94,29%
20	92,99%	93,21%	95,30%	96,76%	91,34%	95,45%	95,87%	96,98%	96,47%	95,96%	96,38%	94,98%	95,14%
21	96,93%	93,16%	95,15%	95,11%	96,47%	93,61%	95,51%	95,66%	96,95%	95,85%	96,80%	94,08%	95,46%
22	93,78%	94,47%	96,90%	95,44%	96,38%	94,59%	95,59%	95,83%	92,34%	97,08%	93,22%	95,22%	95,09%
23	97,07%	92,53%	94,09%	93,23%	91,03%	96,45%	96,78%	90,91%	94,96%	94,39%	95,81%	93,62%	94,24%
MEDIA	94,85%	94,79%	94,41%	94,60%	94,56%	94,37%	95,17%	94,25%	94,61%	94,86%	94,43%	95,50%	94,70%

Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje de escuchas atendidas en tiempo objetivo es del 94,70%, con límites entre el 89,30% y el 97,98% y superior al 89,65% de M/M/S por las razones expuestas anteriormente.

Tabla 4.23: Porcentaje de escuchas perdidas de Médico Coordinador con M/M/S+k en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

franja	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	media
0	4,09%	2,90%	2,10%	2,45%	3,10%	3,12%	5,11%	4,24%	2,70%	2,49%	8,74%	5,15%	3,85%
1	8,46%	7,46%	7,25%	6,56%	5,83%	8,21%	2,33%	2,21%	7,58%	6,64%	5,33%	2,08%	5,80%
2	6,74%	4,30%	4,46%	4,30%	4,15%	5,03%	6,13%	6,67%	4,88%	4,54%	3,62%	6,33%	5,11%
3	4,69%	4,53%	3,62%	3,42%	2,38%	2,36%	4,67%	4,85%	3,29%	2,82%	2,78%	4,46%	3,66%
4	3,55%	2,83%	2,56%	3,01%	2,24%	3,32%	3,28%	4,21%	2,78%	2,61%	2,51%	4,54%	3,13%
5	3,90%	2,78%	2,15%	2,23%	1,70%	2,83%	3,07%	3,98%	2,02%	2,19%	2,02%	3,03%	2,66%
6	3,03%	2,91%	1,89%	1,80%	2,19%	2,31%	2,28%	3,51%	2,06%	1,73%	2,50%	2,85%	2,42%
7	3,66%	4,30%	3,90%	3,08%	3,22%	3,90%	4,42%	4,23%	2,60%	3,59%	4,24%	4,07%	3,77%
8	2,27%	2,40%	2,61%	8,98%	2,10%	2,16%	3,20%	8,48%	2,21%	8,32%	8,61%	2,94%	4,53%
9	4,55%	7,42%	4,35%	4,35%	4,59%	5,77%	7,26%	7,11%	4,92%	5,73%	7,06%	2,52%	5,45%
10	5,63%	3,53%	5,50%	7,42%	5,63%	7,42%	2,66%	2,89%	5,76%	2,68%	2,45%	5,88%	4,79%
11	6,65%	3,75%	7,72%	2,82%	6,71%	3,26%	2,69%	3,58%	7,99%	2,35%	2,42%	2,76%	4,40%
12	4,64%	3,21%	7,08%	2,64%	7,64%	2,64%	3,11%	3,52%	2,62%	7,68%	6,07%	4,64%	4,65%
13	4,16%	2,97%	6,49%	7,08%	6,55%	6,27%	2,76%	3,41%	6,69%	2,40%	6,23%	3,86%	4,90%
14	2,98%	3,05%	6,01%	6,31%	5,56%	6,62%	2,51%	7,13%	6,33%	7,24%	5,41%	3,03%	5,19%
15	3,68%	7,24%	5,10%	5,64%	4,73%	6,49%	7,04%	7,04%	6,03%	6,49%	4,85%	2,58%	5,56%
16	2,82%	7,74%	4,80%	5,04%	4,24%	4,32%	5,91%	6,49%	4,83%	4,57%	4,43%	2,51%	4,79%
17	2,37%	2,44%	6,17%	6,41%	4,08%	5,44%	6,06%	5,91%	4,39%	5,53%	5,28%	2,44%	4,72%
18	4,72%	2,75%	6,09%	6,87%	6,22%	7,70%	6,94%	6,95%	6,45%	7,51%	6,13%	3,31%	5,99%
19	5,37%	4,48%	7,36%	2,26%	6,00%	7,73%	2,60%	2,51%	6,49%	2,50%	6,87%	3,53%	4,80%
20	5,88%	5,69%	3,96%	2,75%	7,26%	3,83%	3,50%	2,58%	2,99%	3,41%	3,06%	4,23%	4,09%
21	2,60%	5,74%	4,08%	4,13%	2,99%	5,37%	3,80%	3,68%	2,58%	3,50%	2,71%	4,97%	3,83%
22	5,21%	4,65%	2,62%	3,84%	3,05%	4,54%	3,72%	3,53%	6,42%	2,46%	5,68%	4,01%	4,13%
23	2,47%	6,26%	4,95%	5,67%	7,51%	2,98%	2,72%	7,61%	4,23%	4,70%	3,51%	5,34%	4,83%
MEDIA	4,34%	4,39%	4,70%	4,54%	4,57%	4,74%	4,07%	4,85%	4,54%	4,32%	4,69%	3,79%	4,46%

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4.- Planificación de las necesidades de personal del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

El porcentaje de escuchas perdidas se sitúa en el 4,46%, oscilando entre el 1,70% y el 8,98%, inferior al 11,1% observado en la realidad.

4.4.3 Red de Colas para el dimensionamiento óptimo de la plantilla del Servicio Provincial de Emergencias Sanitarias de Málaga. 2007.

En el gráfico 4.10 se muestran los resultados en alta actividad.

Gráfico 4.10: Resultados de la Red de Jackson, en alta actividad, en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

OPEN JACKSON QUEUEING NETWORK: ALTA ACTIVIDAD						
Number of Nodes:		3				
γ	μ	Servers	Node	Routing Table		
103.	22.5	7.	Teleoperador	0.00%	50.00%	12.00%
0.	26.16	4.	Médico	0.00%	0.00%	100.00%
17.	43.25	4.	Operador radio	0.00%	20.00%	15.00%
System Performance Measures						
Total number in the network (L)			13.27			
Total sojourn time through the network (W)			0.11			
Node Performance Measures						
Node	Teleoperador	Médico	Operador radio			
γ	103	0	17			
μ	22.5	26.16	43.25			
Servers	7	4	4			
λ	103	76.38	124.4			
ρ	65.40%	72.99%	71.91%			
L	5.0166	4.2069	4.0505			
Lq	0.4388	1.2872	1.1742			
W	0.0487	0.0551	0.0326			
Wq	0.0043	0.0169	0.0094			
Marginal Probabilities						
	Teleoperador	Médico	Operador radio			
0	0.96%	4.25%	4.52%			
1	4.40%	12.40%	13.00%			
2	10.07%	18.11%	18.69%			
3	15.37%	17.62%	17.92%			
4	17.59%	12.86%	12.89%			
5	16.10%	9.39%	9.27%			

Fuente: Elaboración Propia.

Se ha de destacar que, en conjunto, en la red se están atendiendo simultáneamente algo más de 13 peticiones ($L=13,27$) y de permanecer el cliente en todas las fases necesitaría casi 7 minutos ($Total\ sojourn\ through\ the\ Network=0,11$, que se muestra en horas y redondeado a dos decimales, siendo su valor a tres decimales de 0.114, por lo que $0,114*60=6,84$ minutos). La ocupación ρ de teleoperadores es del 65,40%, del 72,99% para médicos, y del 71,91% para los operadores de radio. Además, los médicos coordinadores tendrían tanto atendiendo como en espera a 4,21 peticiones (L), de las que 1,29 permanece en cola (Lq). Los teleoperadores tendrían entre las atendidas y en espera 5 llamadas y los operadores de radio 4. Los tiempos en cola y en el sistema son breves, siendo bastante probable que en el mismo permanezcan menos de 6 personas en cada tipo de estación de servicio (teleoperador 64,49%, médico coordinador 74,63% y operador de radio 76,29% - suma de *marginal probabilities*-).

En el gráfico 4.11 se muestran los resultados para baja actividad.

Capítulo 4.- Planificación de las necesidades de personal del *call center* del Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

Gráfico 4.11: Resultados de la Red de Jackson, en baja actividad, en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

OPEN JACKSON QUEUEING NETWORK: BAJA ACTIVIDAD						
Number of Nodes:		3				
γ	μ	Servers	Node	Routing Table		
33.	24.	3.	Teleoperador	0.00%	50.00%	12.00%
0.	27.75	2.	Médico	0.00%	0.00%	100.00%
7.	45.	2.	Operador radio	0.00%	20.00%	15.00%
System Performance Measures						
Total number in the network (L)						3.87
Total sojourn time through the network (W)						0.10
Node Performance Measures						
Node	Teleoperador		Médico	Operador radio		
γ	33		0	7		
μ	24		27.75	45		
Servers	3		2	2		
λ	33.00		24.95	42.25		
ρ	45.83%		44.95%	46.94%		
L	1.5393		1.1268	1.2041		
Lq	0.1643		0.2277	0.2653		
W	0.0466		0.0452	0.0285		
Wq	0.0050		0.0091	0.0063		
Marginal Probabilities						
	Teleoperador		Médico	Operador radio		
0	24.27%		37.98%	36.11%		
1	33.37%		34.14%	33.90%		
2	22.94%		15.35%	15.91%		
3	10.52%		6.90%	7.47%		
4	4.82%		3.10%	3.51%		
5	2.21%		1.39%	1.65%		

Fuente: Elaboración Propia

Se ha de destacar que en conjunto en la red se están atendiendo simultáneamente casi 4 peticiones ($L=3,87$), y de permanecer el cliente en todas las fases necesitaría algo menos de 6 minutos ($Total\ sojourn\ through\ the\ Network=0,10$, que se muestra en horas y redondeado a dos decimales, siendo su valor a tres decimales de 0.097, por lo que $0,097*60=5,82$ minutos). Además la ocupación - ρ - de teleoperadores es del 45,83%, del 44,95% para médicos, y del 46,94% para los operadores de radio. Los médicos coordinadores tendrían tanto atendiendo como en espera a 1,13 peticiones (L), de las que 0,23 permanece en cola (Lq). Los teleoperadores tendrían entre las atendidas y en espera 1,54 llamadas y los operadores de radio 1,20. Los tiempos en cola y en el sistema son breves, siendo bastante probable que en el mismo permanezcan menos de 5 personas en cada tipo de estación de servicio (teleoperador 95,92%, médico coordinador 97,47% y operador de radio 96,90% - suma de *marginal probabilities*-)..

En la tabla 4.24 se comparan los resultados obtenidos con los modelos de colas y la red de colas en cuanto al tiempo de ocupación. La red de colas tiene en cuenta aspectos de interrelación de las funciones, y por tanto no sólo considera la atención de demandas como única carga de trabajo, sino que incluye, al menos, otras operaciones como consecuencia de la atención a la demanda que provienen de otros tipos de puestos.

Tabla 4.24: Diferencias en ocupación de los profesionales entre modelos de colas y la red de colas en el *call center* de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias en 2007.

Alta Actividad	Teleoperador	Médico	Operador Radio
M/M/S	76.19%	64.21%	69.17%
M/M/S+k	67.10%	55.62%	59.29%
Red Jackson	65.40%	72.99%	71.91%
Baja Actividad	Teleoperador	Médico	Operador Radio
M/M/S	55.56%	41.53%	44.44%
M/M/S+k	47.83%	35.77%	38.15%
Red Jackson	45.83%	44.95%	46.94%

Fuente: Elaboración Propia

Cabe destacar que la ocupación de médicos coordinadores es mayor en ambos supuestos (alta y baja actividad) pasando del 55,62% del modelo M/M/S+k al 64,21% en el modelo M/M/S, y siendo del 72,99% en la red de Jackson. Los operadores de radio también incrementan, aunque en menor medida, su grado de ocupación, mientras que por el contrario los teleoperadores la reducen. Los teleoperadores aparecen ocupados al 76,19% (modelo M/M/S) en alta actividad, pero dado que se pierden llamadas su ocupación calculada es del 67,10% (modelo M/M/S+k), parecida al 65,40% calculado en la red de Jackson. Por tanto, aunque aparentemente en alta actividad el teleoperador parece saturarse, es realmente el médico coordinador el que se convierte en un cuello de botella. En resumen, en alta actividad, los médicos coordinadores están cerca del límite razonable de ocupación, sin embargo, en baja actividad los recursos humanos disfrutan de una carga de trabajo más que razonable.

4.5 CONCLUSIONES

Este capítulo presenta de una manera integral las fases de estudio del comportamiento del volumen de demanda de llamadas y tiempos de ocupación de cada uno de los puestos de trabajo involucrados en la atención, la aplicación del modelo de colas compatible con el mencionado comportamiento y la extensión a una red de colas de Jackson, que permite evaluar comparativamente la robustez de los resultados de carga de trabajo y cuellos de botella, en el marco de un equilibrio de nivel de calidad de servicio y aprovechamiento de los recursos.

Los resultados coinciden con la evidencia empírica disponible en *call centers* de emergencias (Channouf et al, 2007; Matteson et al, 2011), en cuanto a modelos de colas aplicables, sin embargo, se aporta un marco de referencia más amplio y flexible enfatizando la identificación de los estados estacionarios.

La metodología aplicada para la identificación de estados estacionarios permite, independientemente de probar y descubrir el comportamiento de llamadas y tiempos (requisito imprescindible para aplicar un modelo de colas), mejorar el conocimiento de las relaciones entre las variables. Así el análisis discriminante aporta que las variables relacionadas con la estructura de oferta (número de médicos coordinadores y teleoperadores) son las de mayor capacidad de diferenciación, seguidas de las variables de demanda (llamadas recibidas e índice mes). Los coeficientes de estructura (Tabla 4.4) muestran que las variables número de médicos coordinadores y número de operadores son las más correlacionadas con cada una de las funciones discriminantes, seguidas del número de llamadas recibidas y el índice de mes. Las dimensiones de oferta y estructura son, por tanto, las que más influyen en el poder discriminatorio. Dado que la dimensión de recursos está en función de la demanda, también es posible interpretar que la demanda

influye en la dimensión de recursos y es por tanto la inductora primaria del poder discriminatorio. Son estas variables las que entran en juego posteriormente, ya que el objetivo de los modelos de colas es la planificación de necesidades de esos puestos, que depende de la demanda de llamadas recibidas y sus tiempos. También alerta de otras posibles agrupaciones de franjas que reducirían el número de ellas a programar para otros posibles objetivos de estudio.

La programación mensual de teleoperadores no se adapta al perfil necesario, dándose meses con excesos de recursos (febrero a noviembre) y meses con defecto (enero y diciembre), asimismo la programación diaria resulta excedente en las franjas de madrugada (1 a 7), tarde (14 y 18 a 19) y noche (23) e insuficiente en el resto de franjas. Los modelos de colas mejoran el cálculo de las necesidades de teleoperadores, destacando un ahorro del 4,4%, mejora del tiempo de respuesta en un 38% y del nivel de servicio en un 23%. El modelo M/M/S+k indica una reducción de las llamadas perdidas del 12,7% al 6,58% lo que supone una mejora del 48% en este indicador clave. El nivel de servicio pasaría del 70% de llamadas atendidas antes de 10 segundos a casi el 90% (M/M/S) o el 93% (M/M/S+k), y el tiempo de respuesta de 10,5 segundos a 6,5 (M/M/S) o 3 segundos (M/M/S+k). Las diferencias de indicadores de rendimiento entre los modelos de colas y la programación real, obtenidas en el capítulo 1, se explican porque con el dimensionamiento real se supone que siempre estarán presentes el número de médicos necesarios y en la realidad el dimensionamiento responde al número de personas que estarán en turnos y que necesariamente tomarán los descansos y pausas legales, lo que implica que en ocasiones no estarán presentes todos a la vez. Siguiendo en esa línea, se analizó el escenario de eliminar un teleoperador en cada franja y los resultados de llamadas perdidas y nivel de servicio se acercan a los valores observados en la realidad. En cuanto a las diferencias entre los modelos M/M/S y M/M/S+k se explican porque el primero supone una paciencia infinita del llamante, que finalmente será atendido, mientras el segundo supone una impaciencia que supondrá el abandono y por tanto una menor carga de trabajo debido a que finalmente se atenderán menos llamadas que las esperadas. .

La hipótesis de emplear puestos polivalentes de teleoperadores y operadores de radio con objeto de aprovechar las economías de escala plantea un ahorro potencial de 290.000 euros, si bien es cierto que deberían afrontarse costes adicionales de formación y un periodo de transición a la nueva operativa. El hecho de que ya se opere de esta forma en las franjas de 22 a 7 induce a que la adaptación podría producirse con éxito.

Los médicos coordinadores se encuentran infradotados en las franjas de 8 a 11, en especial, en los meses de alta actividad (enero, julio, agosto y diciembre) y sobredimensionados en las franjas de 14 a 17. Aunque el número total de efectivos sea prácticamente coincidente, tanto en los modelos de colas como en la programación real, lo que se produce es una compensación entre franjas y meses. El cálculo de los modelos de colas plantea mejoras en sus medidas de desempeño, destacando el porcentaje de escuchas perdidas, que pasa del 11,1% al 4,46%; esto supone una mejora en el proceso de atención de las llamadas de emergencia, induciendo un menor tiempo de ocupación en el teleoperador.

Del análisis de la red de colas se deduce que la actividad del médico coordinador se conforma como el cuello de botella del flujo de operaciones, o lo que es lo mismo, de variaciones en la demanda surgirán variaciones notables en la actividad del médico coordinador. Dicho de otro modo, cuando se pueden establecer relaciones funcionales entre los puestos, es posible determinar, aunque sea aproximadamente, el efecto que

podría producir incrementos de llamadas en las necesidades de recursos, para así poder equilibrar el nivel de servicio. Para ello, bastaría con conocer la tasa de entradas, tiempos de servicio, y sus distribuciones, con objeto de poder aplicar los modelos explicitados. En alta actividad (franjas de más de 120 llamadas por hora), los médicos coordinadores están cerca del límite máximo de ocupación, sin embargo, en baja actividad los recursos humanos disfrutan de una carga razonable de acuerdo al nivel de servicio deseado. No se ha podido realizar un análisis exhaustivo de todas las franjas y meses desde la óptica de la red de Jackson, pero los resultados muestran que se producen transferencias de cargas de trabajo del teleoperador al médico coordinador y operador de radio. La extensión a todas las franjas es una interesante línea de investigación de futuro, así como la aplicación de modelos de simulación de eventos discretos para analizar el funcionamiento global del *call center*. Así, en Gans *et al.*, (2003) se plantea una metodología consistente en que en primer lugar podría simularse el desempeño del sistema de colas y posteriormente aplicar modelos analíticos para refinar el cálculo de necesidades de personal de acuerdo a los niveles de servicio que se deseen ofertar.

Se recomienda la aplicación de técnicas analíticas como los modelos de colas, que potenciarían otras técnicas más al uso de la gestión empresarial como el análisis de procesos. Resulta fundamental y primario conocer el funcionamiento y posibles reacciones del proceso en estudio, para integrar esta información proveniente de la investigación de operaciones con otras técnicas del *management*.

Este estudio presenta la limitación de extrapolación de resultados a otras zonas geográficas que pudieran verse afectadas por variables de salud y comportamiento distintas y, en especial, operativa diferente del *call center*. Sin embargo, la aplicación de los modelos presentados es adecuada y recomendable para cualquier centro de llamadas de emergencias sanitarias.

En conclusión, la utilización conjunta de los distintos métodos de análisis genera sinergias en el conocimiento de las necesidades de profesionales, contribuyendo a una mayor eficiencia en la planificación a corto y medio plazo de los recursos humanos disponibles, reduciendo costes y mejorando la calidad simultáneamente.

**CAPITULO 5.- OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTILLA DEL *CALL CENTER* DEL
SERVICIO PROVINCIAL DE MÁLAGA DE LA EMPRESA PÚBLICA DE
EMERGENCIAS SANITARIAS DE ANDALUCÍA.**

“La forma si no tiene fondo no tiene ningún valor. Es más fácil aprender que saber”.
Chris Simms.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

En el capítulo introductorio se puso de manifiesto que una vez conocidas las necesidades de personal en los intervalos de tiempo considerados para el *call center*, el siguiente paso es optimizar las incorporaciones de teleoperadores y médicos coordinadores para minimizar el *gap* entre necesidades y posibilidades de contar con esos profesionales, teniendo en cuenta las condiciones laborales de cada modalidad de puesto. En torno al 70% de los gastos de explotación se corresponden con los de personal (Dietz, 2011; Channouf et al, 2007), por ello la programación de horarios y turnos es uno de los aspectos esenciales para una gestión eficiente.

El núcleo del problema es asignar las personas necesarias en el momento oportuno para dar respuesta a las necesidades de los clientes y usuarios. El planteamiento clásico de resolución implica varias fases (Buffa et al, 1976):

1. Previsión de la demanda (*forecasting*), analizado en el capítulo 3.
2. Convertir la previsión de la demanda en necesidades de personal de acuerdo a los tiempos de atención del servicio (*staffing*), que se analizó en el capítulo 4.
3. Programación óptima de horarios (turnos) (*scheduling*), que se trata en este capítulo.
4. Cuadrantes (*rostering*): asignación de empleados a turnos.

La programación de horarios implica tener en cuenta las condiciones laborales fijadas en convenios colectivos y legislación laboral. Se suelen fijar un determinado régimen de descansos, pausas y tiempos entre jornadas; estos limitan la disposición de recursos humanos en orden a hacer factible la conciliación de la vida personal, familiar y laboral de los empleados.

Dado un comportamiento irregular de la demanda, que varía fuertemente entre las horas de cada día y con presencia de estacionalidad mensual, junto con las limitaciones mencionadas de disposición de personal, se hace muy complejo encontrar un conjunto de horarios que en todo momento equilibre la oferta con la demanda. Sin embargo, es posible calcular cuántos empleados estarán disponibles, cumpliendo con el mínimo de necesidades requeridas. En el mejor de los casos coincidirán las necesidades con los disponibles, pero generalmente se darán intervalos de tiempos de atención al cliente en los que los empleados disponibles serán mayores que los mínimos necesarios. Si los excesos fuesen demasiados, la vía de solución vendría dada por la violación de algunas de las restricciones en aquellos horarios de atención que afectasen menos al nivel de servicio, es decir, aquellos que repercutan menos en una atención deficiente a los clientes y usuarios.

Existe una amplia bibliografía sobre la programación de horarios, términos como *labor scheduling*, *manpower scheduling*, *workforce scheduling* son los habituales para centrar la búsqueda de trabajos relacionados con el problema. La asignación de empleados a turnos es una generalización del problema anterior, o dicho de otro modo el *workforce scheduling* es un caso particular del problema de asignación, que para la asignación de empleados es conocido como *timetabling*.

En el ámbito de los *call centers* se pueden destacar algunos trabajos como el de Gans *et al*, (2003) que recopila algunos de los más interesantes, y plantea el problema, tanto para la planificación, como para la programación a corto plazo. En otro trabajo posterior de

Mandelbaum, (2006) se proporciona una bibliografía exhaustiva por áreas de aplicación que incluye los servicios públicos, destacando el estudio de Harris *et al*, (1987) que integra el problema del *staffing* y del *Scheduling* para un *call center* de emergencias (Policía), aplicando modelos de simulación y programación matemática. Los enfoques de solución se han incorporado de diversos métodos científicos, como la programación matemática (Segal, 1974; Thompson 1995). Este último autor introduce por primera vez la idea de necesidades mínimas y óptimas de personal para ajustar los excesos en determinados intervalos de tiempo. Es decir, que para cada intervalo de tiempo que se considere oportuno no existe un único valor, sino un intervalo entre las necesidades óptimas y las necesidades mínimas, con objeto de no sobrepasar las óptimas. También se han aplicado modelos analíticos de colas (Sze, 1984), simulación (Muhlemann, 1981), programación dinámica (Zhou *et al*, 2003), algoritmos genéticos (Ingolfsson *et al*, 2002), y otros procedimientos heurísticos (Henderson *et al*, 1976). Una interesante revisión de métodos y su aplicación a distintos sectores, en los que se implantan diversos modelos metaheurísticos basados en Búsqueda Tabú, Templado simulado, algoritmos de colonias de hormigas, además de los clásicos de programación matemática, puede encontrarse en un número especial dedicado a la planificación y programación de personal (*Annals of operations research*, 2004), así como en Ernst *et al*, (2004) que además abordan conjuntamente el *scheduling* y el *rostering*.

El incremento de la capacidad de cómputo de los ordenadores ha supuesto que la aplicación de modelos de programación matemática y otros hayan acercado los modelos a soluciones factibles en el mundo empresarial. Atlason *et al*, (2004) generalizan la aportación de Thompson (1995), incluyendo simulación de niveles de servicio y programación lineal entera resuelta por el método de planos cortantes de Gomory, que aportan más realidad a los supuestos del modelo. Posteriormente, Cezik y L'Ecuyer, (2008) generalizan el modelo de Atlason *et al*, (2004) para *call centers* con perfiles profesionales multihabilidad. Para el caso en el que los intervalos de tiempos no sean independientes en términos de demanda, Ingolfsson *et al*, (2007) solucionan la programación de horarios. Caprara *et al*, (2003) presentan una serie de algoritmos y formulaciones matemáticas para problemas de *scheduling* en cinco fases, la primera determina la cantidad de turnos requeridos, la segunda calcula el personal necesario para ser asignados a esos turnos; en la tercera y cuarta se definen los periodos de descanso y la secuencia de días laborables y de descanso para cada empleado respectivamente, y en la quinta etapa se establece la configuración diaria de estos turnos para cada empleado. La solución se obtiene en dos pasos, en el primero obtienen la cantidad mínima de trabajadores, y en la segunda determinan el patrón de trabajo de cada uno. La dificultad estriba en la complejidad de los algoritmos, y por tanto en la factibilidad de su aplicación al mundo empresarial. Recientemente, Ojeda, (2012) vuelve al planteamiento tradicional de aplicar programación lineal entera para el cálculo de personal en franjas horarias, tratando de reducir la dimensión combinatoria de los múltiples horarios aplicables mediante algoritmos genéticos.

En este capítulo se propone la aplicación de la programación lineal entera, dado que en primer lugar esta herramienta proporciona una solución exacta, si existe, y no óptimos locales como las herramientas metaheurísticas. En segundo lugar, es posible disponer de *software* estándar validado y de fácil manejo para el gestor. En tercer lugar, aunque la formulación para su resolución es muy amplia, se propone descomponer el problema en subconjuntos excluyentes, que permitan entender las soluciones y poder iterar modificando las restricciones.

La aportación de este trabajo es la resolución eficiente de la programación de horarios de personal para un *call center* de emergencias sanitarias con *software* estándar y con el objetivo de ajustar la menor diferencia entre las necesidades mínimas y las calculadas, para cumplir con las restricciones laborales. En una primera etapa se analiza la generación de horarios, y en una segunda se resuelve el problema formulado desde las dimensiones de tiempos (meses) y modalidades de puestos (teleoperador, médico coordinador y operador de radio).

El capítulo se estructura en un apartado de metodología, que describe la situación de partida de las necesidades planificadas, formula el modelo general y los submodelos aplicados. Un segundo apartado muestra los resultados más relevantes, y se finaliza con la discusión, conclusiones y futuras líneas de investigación.

5.1.- METODOLOGÍA²⁹

Como se ha comentado, el objetivo de este capítulo es optimizar el número de personas por puestos de trabajo, de acuerdo a las restricciones laborales fijadas en la legislación. Los métodos adecuados para optimizar son los derivados de la programación matemática, ya que garantizan la mejor solución posible. En ocasiones, ya sea por la complejidad en la formulación del problema, ya sea por no existir una solución óptima, es necesario acudir a otras técnicas heurísticas.

Si las relaciones entre las variables tienen carácter lineal, es posible aplicar la programación lineal, que haciendo uso del algoritmo del simplex proporciona la mejor solución posible³⁰. Puede ocurrir que los términos de la solución deban expresarse en unidades enteras. Así, si se ha calculado que es necesario disponer de 4 teleoperadores en la franja de las 6hs a las 7hs, no es posible aceptar una solución de 4,8, ya que no es posible el fraccionamiento de los teleoperadores. Para este caso se hace uso de la programación lineal entera.

La programación lineal entera puede resolverse por distintos algoritmos, el más usado en *software* comercial es el conocido como *Branch and Bound* (ramificación y acotamiento), que realiza una búsqueda completa de una solución óptima en todo el espacio de búsqueda, pero con la ventaja de ir reduciéndolo a medida que encuentra puntos de infactibilidad y puntos para los cuales se determina una buena solución de la función objetivo. El algoritmo *Branch and Bound* se basa en dos estrategias: dividir (*branching*) y explorar (*bounding*). La división se hace con el fin de disminuir el espacio de búsqueda en espacios de menor tamaño para los cuales sea más fácil encontrar la solución, debiéndose ejecutar sucesivamente hasta que la solución de cada subespacio sea entera. La exploración consiste en determinar soluciones parciales para cada uno de estos subespacios generados por la estrategia de división del problema. Así, con cada una de estas soluciones el algoritmo puede ir descartando cada uno de estos espacios, siendo el

²⁹ Existen excelentes manuales que explican el fundamento y la aplicación de la metodología de la programación lineal entera, entre los que se recomienda a Hiller y Lieberman (2006), Anderson et al (2001) y Taha (2007) que han servido de base para la exposición de este apartado.

³⁰ El método del simplex se utiliza, sobre todo, para resolver problemas de programación lineal en los que intervienen tres o más variables. La base del método la constituye el álgebra matricial y el proceso de eliminación de Gauss-Jordan para resolver un sistema de ecuaciones lineales. Es un procedimiento iterativo que permite ir mejorando la solución a cada paso, terminando cuando no es posible seguir mejorando la solución. Partiendo del valor de la función objetivo en una arista cualquiera, el método consiste en buscar sucesivamente en aristas adyacentes otra que mejore a la anterior, garantizando encontrar una solución cuando el número de aristas es finito.

óptimo global la mejor solución de las encontradas en cada uno de los subespacios. Otro aspecto que considera el algoritmo son las pruebas de sondaje, por medio de las cuales se realiza la eliminación de nodos no factibles y los nodos para los cuales se obtiene un peor valor de la función objetivo, permitiendo este proceso hacer que el espacio de búsqueda se reduzca más rápido.

Desde la óptica de los problemas tipo de programación lineal, la asignación de personal a turnos horarios se conoce como problema de cubrimiento (*set covering*). La primera solución se debe a Dantzig, (1954) y la primera aplicación a un *call center* a Keith, (1979).

En este capítulo se realiza la programación para los puestos de teleoperador, operador de radio y médico coordinador. Los dos primeros puestos se rigen por las condiciones del convenio colectivo de las empresas de *contact center* y acuerdos con los empleados, mientras que el médico coordinador se rige por el convenio colectivo de EPES. Las cuestiones más relevantes que afectan a la duración de la jornada laboral son las siguientes:

- c) Teleoperador y Operador de radio: trabajan 1.764 horas en cómputo anual, siendo los turnos máximos de 12 horas y los mínimos de 4 horas. Es posible realizar refuerzos que no pueden ser inferiores a 3 horas. Los descansos durante la jornada son de 30 minutos para los que estén entre 12 y 9 horas, de 20 minutos para los que trabajen entre 8 y 6 horas, y 10 minutos para los de duración entre 5 y 4 horas. Además, en todos los casos ha de producirse un descanso de 5 minutos por cada hora efectiva de trabajo por motivo de pausa de visualización de datos (PVD).
- d) Médico coordinador: trabajan 1.452 horas en cómputo anual, siendo todos los turnos de 12 horas. Descansan 30 minutos para almuerzo o cena.

Se plantea como función objetivo minimizar el total de horas de teleoperación y médico coordinador contratados (equivalente a minimizar los costes totales de contratación de puestos). Analíticamente:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^3 \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^h \sum_{k=1}^{12} P_{itjk} X_{itjk}$$

s. a.

$$Y_{itk} \geq b_{itk}$$

$$X_{itjk} = \text{positivo y entero}$$

siendo:

X_{itjk} = cantidad de puestos de la modalidad i ($i=1, 2, 3$), es decir, teleoperador, médico coordinador y operador de radio, trabajando en el período de tiempo t ($t=1, \dots, T$), en un tipo de turno j ($j=1, \dots, h$), y que trabajarán en el mes k ($k=1, 2, \dots, 12$) del año. X_{itjk} enteros y no negativos.

P_{itjk} = Duración de la jornada laboral del puesto de la modalidad i ($i=1, 2, 3$), en el tipo de turno j ($j=1, \dots, h$), el mes k ($k=1, \dots, 12$) y que trabaja en el intervalo t ($t=1, \dots, T$) (equivalente a factor de coste asociado a contratar un puesto de modalidad i).

Y_{itk} = cantidad de personal de cada puesto de la modalidad i ($i=1, 2, 3$), presentes en el intervalo t ($t=1, 2, \dots, T$) el mes k ($k=1, \dots, 12$), según la disposición de horarios.

$$Y_{itk} = \sum_{j=1}^h X_{itjk}$$

b_{itk} = número de personas necesarias por cada puesto i ($i=1, 2, 3$), en el intervalo t ($t=1, \dots, T$), en el mes k ($k=1, \dots, 12$). Esta información se calculó en el capítulo 4, como el número de personas necesarias en cada intervalo horario de cada mes.

Para facilitar la resolución de este problema de optimización se distinguen dos submodelos principales, el primero engloba las modalidades de teleoperador y operador de radio, que trabajan de 8hs a 21hs como puestos diferenciados y el resto de horarios como polivalentes. El segundo submodelo resuelve el puesto de médico coordinador. La formulación de dos submodelos es posible gracias a que son puestos excluyentes. Cada submodelo principal es dividido a su vez en otros 12 submodelos, uno para cada mes, ya que si se realiza de forma compacta el mes de mayores necesidades condicionaría al resto de meses.

5.1.1. Las restricciones para la formulación de un problema de programación lineal para la optimización de la plantilla de Teleoperadores y Operadores de radio.

En otros trabajos es habitual partir de los horarios que se realizan en la práctica del sector y de una plantilla previa, siendo en este caso la función objetivo minimizar el número de personas en cada horario que cumpla con las restricciones de necesidades de personal. En el planteamiento de este trabajo se adopta un marco más flexible, sin tomar horarios a priori, dejando que sean los que por medio del modelo minimicen las necesidades. En el caso de que alguno de los horarios no sea aceptado, podría recalcularse el modelo. Esto supone que el gestor conozca cuánto costará a la empresa la decisión de abandonar un determinado horario. Tampoco se parte de plantilla previa; esto es más realista, dado que es un servicio subcontratado que permite a corto-medio plazo variar los volúmenes de contratación y no es necesario encorsetarse en una plantilla fija.

En el cálculo de necesidades (b_{itk}) del capítulo 4 se estableció el estado estable en cada franja de 1 hora de cada mes, pero puede desprenderse de las condiciones expuestas que en esa franja de 1 hora podrían darse tiempos de descansos y pausas. Para garantizar que en el intervalo de 1 hora estén presentes al menos las necesidades calculadas, es necesario segmentar los 60 minutos en intervalos de 5 minutos (mínimo de descanso de PVD), es decir 12 periodos de 5 minutos. Así para 24 horas (franjas) tendríamos $24 \cdot 12 = 288$ intervalos de 5 minutos para cada tipo de duración de jornada.

Las duraciones de jornada tenidas en cuenta van desde 12 horas hasta 3 horas, aunque esta última es un refuerzo, no una jornada ordinaria. Son por tanto 10 horarios distintos. Se tiene, en resumen, 288 intervalos para cada tipo de duración de la jornada y 10 tipos de duración, por lo que el número de variables a resolver en la función objetivo es de 2.880 para cada mes.

Las restricciones, que corresponden con las necesidades de cada mes, serían 288 inecuaciones (24 franjas en intervalos de 5 minutos). Para el caso de resolución del total de meses en un solo modelo el número de inecuaciones sería de 3.456 (288 subfranjas de cada uno de los 12 meses).

Capítulo 5.- Optimización de la plantilla del *call center* del Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

La tabla 5.1 muestra un ejemplo de formulación de las restricciones en el caso de un turno de 4 horas.

Tabla 5.1: Aspecto parcial de las restricciones para la optimización de teleoperadores y operadores de radio en una modalidad de turnos de 4 horas.

Intervalo	Turno ----->				
	4_turno 1	4_turno 2	4_turno 3	4_turno 4	4_turno 5
0.00-0.05	1	.....	.....	.....	.....
0.05-0.10	1	.....	.....	.....	.....
0.10-0.15	1	.....	.....	.....	.....
0.15-0.20	1	.....	.....	.....	.....
0.20-0.25	1	.....	.....	.....	.....
0.25-0.30	1	.....	.....	.....	.....
0.30-0.35	1	.....	.....	.....	.....
0.35-0.40	1	.....	.....	.....	.....
0.40-0.45	1	.....	.....	.....	.....
0.45-0.50	1	.....	.....	.....	.....
0.50-0.55	1	.....	.....	.....	.....
0.55-1.00	1	.....	.....	.....	.....
1.00-1.05	0	.....	.....	.....	.....
1.05-1.10	1	.....	.....	.....	.....
1.10-1.15	1	.....	.....	.....	.....
1.15-1.20	1	.....	.....	.....	.....
1.20-1.25	1	.....	.....	.....	.....
1.25-1.30	1	.....	.....	.....	.....
1.30-1.35	1	.....	.....	.....	.....
1.35-1.40	1	.....	.....	.....	.....
1.40-1.45	1	.....	.....	.....	.....
1.45-1.50	1	.....	.....	.....	.....
1.50-1.55	1	.....	.....	.....	.....
1.55-2.00	1	.....	.....	.....	.....
2.00-2.05	1	.....	.....	.....	.....
2.05-2.10	0	.....	.....	.....	.....
2.10-2.15	1	.....	.....	.....	.....
2.15-2.20	1	.....	.....	.....	.....
2.20-2.25	1	.....	.....	.....	.....
2.25-2.30	1	.....	.....	.....	.....
2.30-2.35	1	.....	.....	.....	.....
2.35-2.40	1	.....	.....	.....	.....
2.40-2.45	1	.....	.....	.....	.....
2.45-2.50	1	.....	.....	.....	.....
2.50-2.55	1	.....	.....	.....	.....
2.55-3.00	1	.....	.....	.....	.....
3.00-3.05	1	.....	.....	.....	.....
3.05-3.10	1	.....	.....	.....	.....
3.10-3.15	0	.....	.....	.....	.....
3.15-3.20	0	.....	.....	.....	.....
3.20-3.25	0	.....	.....	.....	.....
3.25-3.30	1	.....	.....	.....	.....
3.30-3.35	1	.....	.....	.....	.....
3.35-3.40	1	.....	.....	.....	.....
3.40-3.45	1	.....	.....	.....	.....
3.45-3.50	1	.....	.....	.....	.....
3.50-3.55	1	.....	.....	.....	.....
3.55-4.00	1	.....	.....	.....	.....

Fuente: Elaboración propia.

La formulación de las restricciones, y por tanto generación de horarios, se realiza en una matriz, en la que en filas se sitúan los 288 intervalos y en columnas cada uno de los 2.880 tipos distintos de duración de jornada, introduciendo 0 en los periodos en los que no se trabaja pero se está en turno, se introduce 1 en los intervalos de trabajo efectivo, y dejando en blanco el tiempo que no es de trabajo ni descanso.

Las necesidades de personal serán muy cambiantes por meses debido a la estacionalidad de la demanda. Este hecho va a producir un conjunto de horarios muy amplio y diferente para cada periodo, que provocará posibles descontentos en el personal. Se plantea por ello un modelo alternativo agrupando los meses según necesidades. Esta agrupación se realiza a partir de los resultados del análisis de componentes principales del capítulo 4, (tabla

4.6) para reducir la dispersión de horarios, y en definitiva tener en cuenta los factores de satisfacción del personal con horarios más estables.

Se agrupan en cuatro bloques, enero y diciembre forman el primero, febrero, julio y agosto el segundo. El tercer bloque lo componen marzo, abril, mayo, septiembre y noviembre. El último bloque lo forman junio y octubre. Una vez definidos se calculan tal como se ha expuesto anteriormente.

5.1.2. Las restricciones para la formulación de un problema de programación lineal para la Optimización de la plantilla de Médico Coordinador

Para este tipo de puesto se plantean algunas modificaciones en la formulación del problema de programación lineal entera para la optimización de la plantilla, dado que los turnos tan amplios de 12 horas no permiten flexibilidad para adaptarse a la demanda. Si se supone que es necesario tener un médico más durante 6 horas, se cubrirían, pero con un excedente de otras 6, es decir un 100% de exceso respecto a las necesidades. Es un hecho que las condiciones laborales en este puesto son más rígidas, tanto en contratación como la duración de jornada. Por ello, sin entrar en incorporar los periodos de descanso (en este caso 30 minutos totales y seguidos por jornada), se plantea un modelo simplificado, en el que la función objetivo minimiza las horas de médico necesarias para las 24 franjas horarias (0 horas a 23 horas) teniendo en cuenta 5 tipos de horario por turno (turnos de 12, 11, 10, 9 y 8 horas) que son un total de 120 variables. La configuración de las restricciones se realiza de forma análoga a los teleoperadores, pero ahora se tienen 24 filas y 120 columnas.

El software utilizado es Opensolver versión 2.1, que es *freeware*. Trabaja la inclusión del modelo en la hoja de cálculo Excel a partir de la versión 2007, y la forma de operar es igual que el módulo Solver instalado en las versiones de la mencionada hoja de cálculo. Su utilidad y rendimiento han sido probados en trabajos que se pueden encontrar www.opensolver.org. (Aeschbacher, 2012; Perry, 2012).

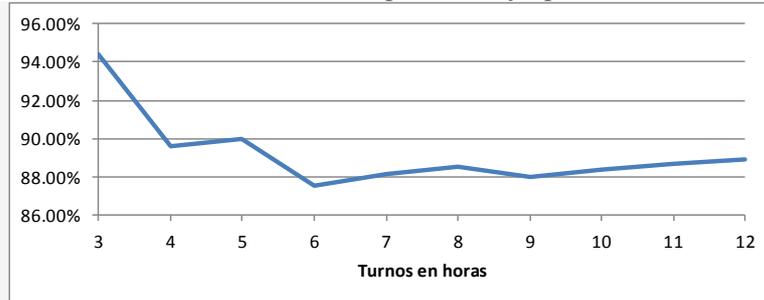
5.2 RESULTADOS

5.2.1. Optimización de Teleoperadores y Operadores de radio en el Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

En primer lugar se analiza la productividad de los distintos turnos, ya que los descansos y pausas introducen un tiempo efectivo de trabajo que difiere según el número de horas de cada turno (gráfico 5.1). La productividad es el cociente entre tiempo real disponible para trabajar, es decir, “sentado en la silla” y el tiempo total del turno, que incluye los tiempos de pausas y descansos.

Capítulo 5.- Optimización de la plantilla del *call center* del Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

Gráfico 5.1: Productividad de los turnos de teleoperadores y operadores de radio



Fuente: Elaboración propia

En el que se observa como el turno de refuerzo de 3 horas alcanza casi el 95% del tiempo dedicado a trabajo efectivo, seguido de los de 4 y 5 horas con el 90%. El resto se sitúa por debajo del 90%, siendo el mínimo el turno de 6 horas con el 87,5% de trabajo efectivo.

En la tabla 5.2 se muestran los resultados del número de personas que ha calculado el modelo que van a estar trabajando y cumple con las restricciones.

Tabla 5.2: Puestos de teleoperador y operador de radio por franja horaria y mes calculados mediante el modelo de programación lineal para el *Call Center* del Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

Franja	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Media
0	6,83	6,25	5,33	6,67	6,50	6,17	7,42	7,17	6,50	6,58	5,58	7,33	6,53
1	5,08	5,08	5,00	5,33	5,42	5,42	6,75	5,42	5,08	5,33	4,33	5,42	5,31
2	5,00	4,33	4,08	4,33	4,17	4,08	5,17	5,17	4,58	4,25	4,75	5,08	4,58
3	4,58	4,75	4,33	4,58	3,25	4,67	4,08	4,25	4,33	4,25	4,08	4,50	4,31
4	4,67	4,33	4,33	4,25	3,33	4,33	4,33	4,58	4,67	4,17	3,42	4,08	4,21
5	4,08	4,33	3,33	4,25	3,08	4,33	4,42	4,42	3,17	3,33	3,00	4,08	3,82
6	4,25	4,67	3,50	3,42	3,17	4,25	4,50	4,50	3,50	3,25	3,25	4,25	3,88
7	4,50	4,17	4,50	4,17	4,42	5,08	4,42	4,33	4,08	4,58	4,58	4,50	4,44
8	8,58	8,50	8,58	7,17	8,17	8,50	8,17	7,50	8,25	7,33	7,67	8,83	8,10
9	12,33	10,33	10,17	8,33	8,42	10,08	10,17	10,33	10,50	10,33	10,08	11,75	10,24
10	12,25	11,58	10,17	10,17	10,25	10,50	11,58	11,33	10,25	11,83	11,17	13,75	11,24
11	13,33	11,58	10,67	11,08	11,25	11,42	11,25	13,00	12,42	12,25	11,33	14,42	12,00
12	13,42	12,25	10,42	12,08	11,33	12,25	12,25	12,58	11,75	11,25	10,08	13,33	11,92
13	12,33	12,50	10,33	10,25	10,58	10,42	12,17	11,42	10,17	11,50	10,08	12,42	11,18
14	11,25	11,08	10,58	10,17	10,58	10,58	11,58	10,33	10,75	10,25	10,25	11,25	10,72
15	11,17	10,83	10,33	10,33	10,33	10,58	10,42	10,42	10,33	10,25	10,42	11,42	10,57
16	11,17	11,00	10,58	9,42	9,17	10,00	10,08	10,08	10,17	10,83	9,33	11,42	10,27
17	11,42	11,75	10,50	10,58	10,00	10,42	10,50	10,00	9,58	10,42	10,50	11,17	10,57
18	12,08	11,25	10,08	10,08	10,33	10,17	10,33	10,42	10,33	10,33	10,58	11,25	10,60
19	12,17	12,42	10,17	10,50	10,17	10,75	11,25	11,17	10,75	11,33	10,33	12,25	11,10
20	12,33	12,50	11,08	11,58	10,50	11,58	11,75	11,42	11,33	11,58	12,08	12,50	11,69
21	13,33	13,08	12,50	11,67	11,08	12,00	12,25	11,42	11,92	11,08	11,50	12,42	12,02
22	10,25	9,42	8,42	9,17	8,50	9,33	9,67	10,25	8,17	8,25	7,58	9,17	9,01
23	8,83	7,42	7,67	7,58	8,42	8,50	8,50	8,33	7,67	7,33	7,00	7,67	7,91
Media	9,39	8,98	8,19	8,22	8,02	8,56	8,88	8,74	8,34	8,41	8,04	9,34	8,59

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla es la base para la comparación de las necesidades de teleoperadores calculadas en el capítulo 4, es decir, lo máximo que se puede ajustar teniendo en cuenta las condiciones de pausas, descanso y runos expuestas anteriormente. Lo más relevante es las diferencias que se exponen en la tabla 5.3. La parte decimal de los puestos se produce porque se ha segmentado cada franja en 12 intervalos de 5 minutos, considerando número de puestos enteros en los intervalos, por lo que no necesariamente resultan enteros en el promedio de la franja.

Capítulo 5.- Optimización de la plantilla del *call center* del Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

En la tabla 5.3 se exponen las diferencias en respecto a las necesidades de teleoperadores planificadas en el capítulo 4.

Tabla 5.3: Diferencias en el número de puestos de Teleoperador y Operador de Radio entre el modelo de programación lineal y el modelo de colas.

franja	ene	feb	mar	abr	may	Jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	media
0	0,83	0,25	0,33	0,67	0,50	0,17	0,42	0,17	0,50	0,58	0,58	0,33	0,45
1	0,08	0,08	0,00	0,33	0,42	0,42	0,75	0,42	0,08	0,33	0,33	0,42	0,31
2	0,00	0,33	0,08	0,33	0,17	0,08	0,17	0,17	0,58	0,25	0,75	0,08	0,25
3	0,58	0,75	0,33	0,58	0,25	0,67	0,08	0,25	0,33	0,25	0,08	0,50	0,39
4	0,67	0,33	0,33	0,25	0,33	0,33	0,33	0,58	0,67	0,17	0,42	0,08	0,38
5	0,08	0,33	0,33	0,25	0,08	0,33	0,42	0,42	0,17	0,33	0,00	0,08	0,24
6	0,25	0,67	0,50	0,42	0,17	0,25	0,50	0,50	0,50	0,25	0,25	0,25	0,38
7	0,50	0,17	0,50	0,17	0,42	1,08	0,42	0,33	1,08	0,58	0,58	0,50	0,52
8	0,58	0,50	0,58	0,17	0,17	0,50	0,17	0,50	0,25	0,33	0,67	0,83	0,43
9	0,33	0,33	0,17	0,33	0,42	0,08	0,17	0,33	0,50	0,33	0,08	0,75	0,32
10	0,25	0,58	0,17	0,17	0,25	0,50	0,58	0,33	0,25	0,83	0,17	0,75	0,41
11	0,33	0,58	0,67	0,08	1,25	0,42	0,25	1,00	0,42	0,25	0,33	0,42	0,50
12	0,42	0,25	0,42	0,08	0,33	0,25	0,25	0,58	0,75	0,25	0,08	0,33	0,34
13	0,33	0,50	0,33	0,25	0,58	0,42	0,17	0,42	0,17	0,50	0,08	0,42	0,35
14	0,25	0,08	0,58	0,17	0,58	0,58	0,58	0,33	0,75	0,25	0,25	0,25	0,39
15	0,17	0,83	0,33	0,33	0,33	0,58	0,42	0,42	0,33	0,25	0,42	0,42	0,40
16	0,17	1,00	0,58	0,42	0,17	1,00	0,08	0,08	0,17	0,83	0,33	0,42	0,44
17	0,42	0,75	0,50	0,58	1,00	0,42	0,50	0,00	0,58	0,42	0,50	0,17	0,49
18	0,08	0,25	0,08	0,08	0,33	0,17	0,33	0,42	0,33	0,33	0,58	0,25	0,27
19	0,17	0,42	0,17	0,50	0,17	0,75	0,25	0,17	0,75	0,33	0,33	1,25	0,43
20	0,33	0,50	0,08	0,58	0,50	0,58	0,75	0,42	0,33	0,58	1,08	0,50	0,52
21	0,33	1,08	0,50	0,67	0,08	0,00	1,25	0,42	0,92	0,08	0,50	0,42	0,52
22	0,25	0,42	0,42	0,17	0,50	0,33	0,67	1,25	0,17	0,25	0,58	0,17	0,43
23	0,83	0,42	0,67	0,58	0,42	0,50	0,50	0,33	0,67	0,33	0,00	0,67	0,49
media	0,34	0,48	0,36	0,34	0,39	0,43	0,42	0,41	0,47	0,37	0,37	0,43	0,40

En rojo valores superiores a 0,48. En verde los valores comprendidos entre 0,34 y 0,48.

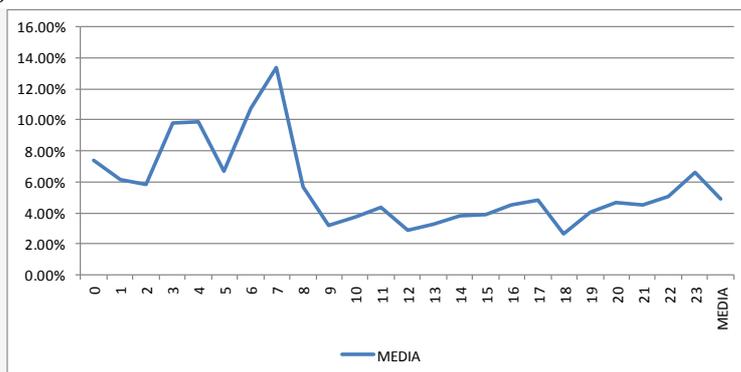
Fuente: Elaboración propia.

Por meses, las diferencias en número de efectivos están bastantes alineadas, siendo febrero y septiembre los que obtienen más diferencias de número de personas con 0,48 y 0,47 respectivamente. Abril y marzo son los de menor diferencia con 0,34 y 0,36. Observado por franjas, son las de las 7, 20 y 21 las de mayor desajuste, con 0,52, y las franjas de las 5 y las 2 las de menor con 0,24 y 0,25. El desajuste de mayor entidad se produce en el mes de mayo en la franja de las 11 horas, con 1,25 personas excedentes.

En el gráfico 5.2 se presenta el desajuste relativo por franjas.

Capítulo 5.- Optimización de la plantilla del *call center* del Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

Gráfico 5.2: Desajustes por franjas horarias en términos porcentuales para Teleoperador y operador de radio

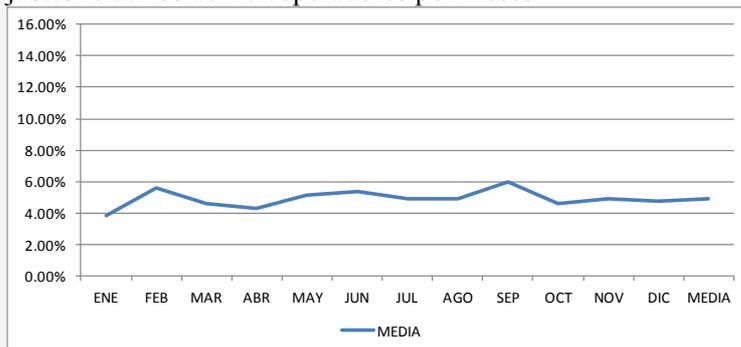


Fuente: Elaboración propia.

Se observa que los mayores desajustes entre los resultados del modelo de programación lineal entera para la planificación de la plantilla de teleoperador y operador de radio se producen entre las 0 a las 7, entre un 6 y un 14%, que son las de menores necesidades de personal. El resto de franjas mantiene un desajuste equilibrado, alrededor del 4%.

El gráfico 5.3 muestra los desajustes relativos de operadores para cada mes.

Gráfico 5.3: Desajustes relativos de Teleoperadores por meses



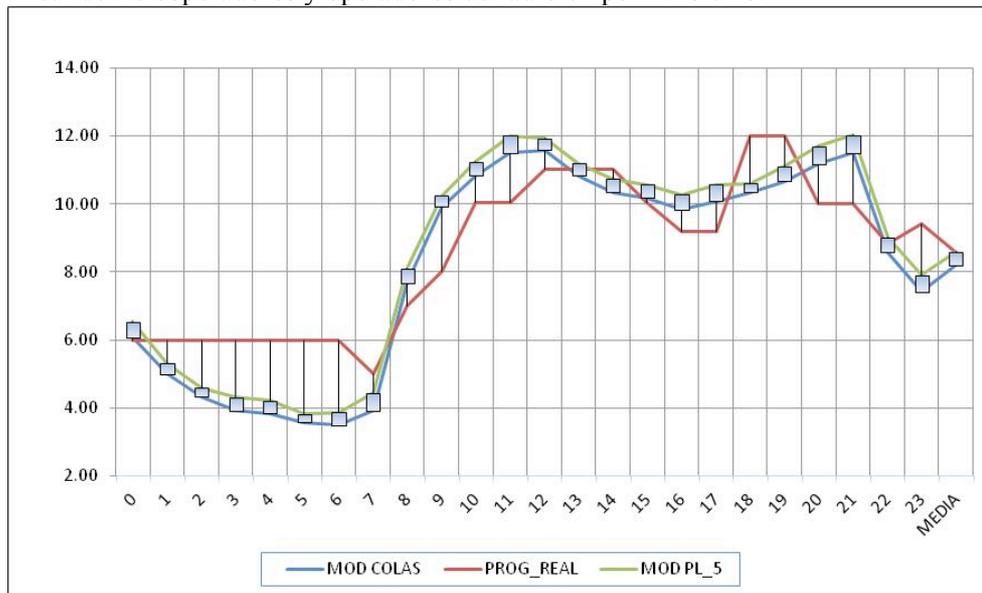
Fuente: Elaboración propia.

Los desajustes por meses, en términos relativos, están equilibrados. La media global es del 4,90%, es decir, el modelo de programación lineal obtiene una adherencia del 95,10% al cálculo de necesidades de personal.

En el gráfico 5.4 se pueden observar las diferencias de ajuste de los modelos implicados en relación con la programación real de EPES en el perfil diario (en el Anexo XIII se presentan todos los meses).

Capítulo 5.- Optimización de la plantilla del *call center* del Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

Gráfico 5.4: Diferencias entre programación real, planificación de necesidades y programación lineal de Teleoperadores y operadores de radio en perfil horario.

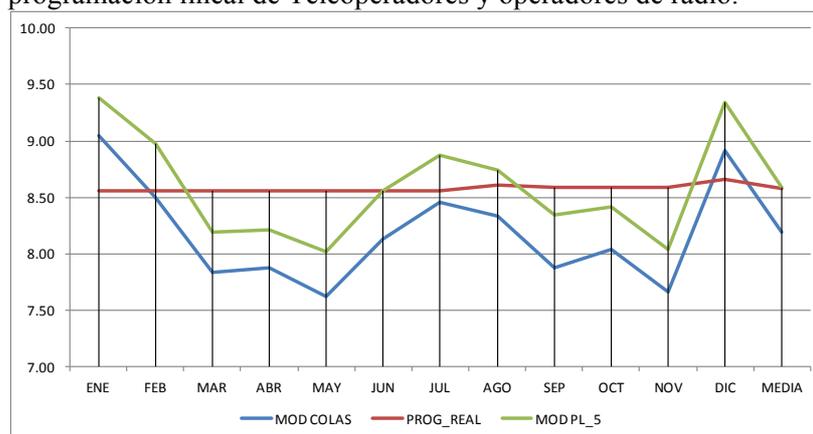


Fuente: Elaboración propia.

En general, el modelo de programación calculado se mantiene cerca del de necesidades calculadas mediante la teoría de colas aplicada en el capítulo 4 (una diferencia de alrededor de 2 puestos como máximo). El perfil de la programación real muestra una serie de excedentes en las franjas de madrugada y un defecto de necesidades en las franjas de la mañana hasta mediodía. Por término medio el modelo de programación lineal calcula un número de efectivos prácticamente igual al de la programación real.

Los desajustes por meses son más llamativos (ver gráfico 5.5).

Gráfico 5.5: Perfil mensual de las diferencias entre programación real, planificación de necesidades y programación lineal de Teleoperadores y operadores de radio.



Fuente: Elaboración propia.

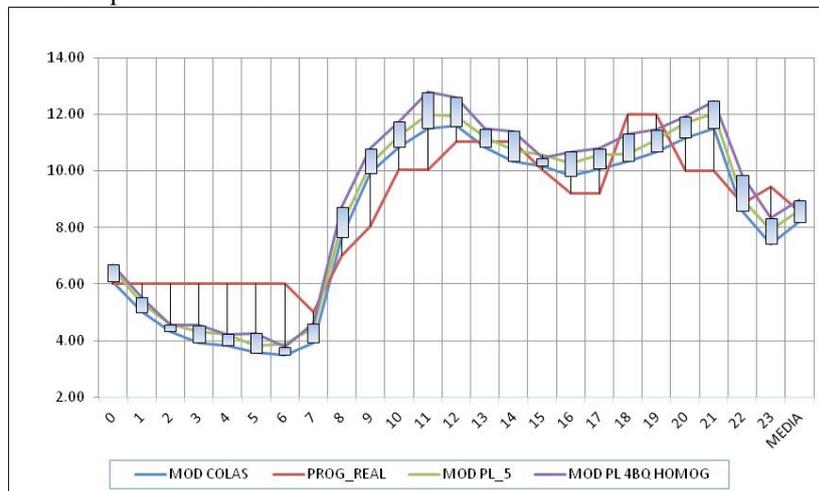
La programación real es casi plana, no teniendo en cuenta el comportamiento estacional de las necesidades de personal, mientras que el modelo propuesto se ajusta al perfil a las necesidades de personal.

Capítulo 5.- Optimización de la plantilla del *call center* del Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

En el modelo alternativo de bloques homogéneos de meses se produce un sobrecoste global del 9,32% respecto del modelo de necesidades, un 4,21% sobre el modelo inicial de programación lineal, y un 4,43% sobre la programación real.

En el gráfico 5.6 se comparan todos los modelos.

Gráfico 5.6: Perfil mensual de las diferencias entre programación real, planificación de necesidades y programación lineal de horarios homogéneos de Teleoperadores y operadores de radio en perfil mensual.



Fuente: Elaboración propia.

El modelo de bloques homogéneos presenta un perfil de ajuste que sigue al de necesidades pero desplazado hacia arriba.

Los resultados de los turnos indican una gran variedad (ver tabla 5.4).

Tabla 5.4: Modalidades de turnos de Teleoperadores y Operadores de Radio según el modelo de programación lineal entera.

Duración Turno/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	Frecuencia	Acumulada
3	4	3	3	6	2	4	6	4	7	5	3	5	52	10.28%	10.28%
4	15	16	13	13	14	22	18	17	11	14	15	17	185	36.56%	46.84%
5	9	7	5	12	8	5	2	9	7	9	4	4	81	16.01%	62.85%
6	9	4	3	2	4	1	8	5	4	3	8	10	61	12.06%	74.90%
7	2	5	4	3	3	3	2	2	5	6	2	4	41	8.10%	83.00%
8	1	2	5	4	2	2	3	4	5	2	3	1	34	6.72%	89.72%
9	4	4	4	1	3	4	3	1	2	1	3	4	34	6.72%	96.44%
10	2	2	1	1		1	2	1		2			12	2.37%	98.81%
11								1					1	0.20%	99.01%
12					2	1					1	1	5	0.99%	100.00%
Total	46	43	38	42	38	43	44	44	41	42	39	46	506		

Fuente: Elaboración propia

Las modalidades más frecuentes son los de 4 horas (36,56%), 5 horas (16,01%) y los de 6 horas (12,06%), mientras que los turnos superiores a 8 horas diarias representan poco más del 10% de todos ellos. Los meses de mayor actividad también presentan mayor variedad de turnos, tales como enero y diciembre con 46 modalidades. Por el contrario, marzo y mayo presentan 38 modalidades.

El número de horarios totales diferentes para el año de planificación son 390, siendo los más habituales los de cuatro horas y que son comunes en 6 de los meses, 5, y 4 respectivamente. El resto de horarios son casi particularizados para cada mes y franja (ver tabla 5.5). Se observa asimismo que las franjas implicadas en estos turnos son en las que

Capítulo 5.- Optimización de la plantilla del *call center* del Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

tanto en el capítulo 1 como en el 2 tenían más llamadas perdidas, lo que implica que el ajuste de los teleoperadores necesarios requiere de cierta flexibilización de la duración de los turnos.

Tabla 5.5: Modalidades de turnos más frecuentes en Teleoperadores y Operadores de Radio.

Hora de inicio	Hora de finalización	Tipo de Turno	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
21H00'	01H00'	4 turno 253	1	1	1			1		1			1		6
09H00'	13H00'	4 turno 109	1		1	1				1	1				5
10H00'	14H00'	4 turno 121		1	1	1						1			4
10H55'	14H55'	4 turno 132			1		1	1						1	4
19H55'	23H55'	4 turno 240		1			1		1					1	4

Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Optimización de plantilla de Médico Coordinador en el Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

Los resultados para el puesto de médico coordinador son de una adherencia del 100%, por tanto, coinciden en la totalidad las necesidades de médico coordinador calculados en el capítulo 4 con el modelo de programación lineal.

En la tabla 5.6 se muestran las modalidades de horarios que necesitarían ser implantados a lo largo del año.

Capítulo 5.- Optimización de la plantilla del *call center* del Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

Tabla 5.6: Modalidades de turnos más frecuentes en la optimización de la plantilla de Médicos coordinadores en el Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

Turno	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
T. 0-11				1									1
T. 5-16			1										1
T. 8-19		1	1										2
T. 10-21											1		1
T. 11-22				1	1			1				1	4
T. 12-23				1		1	1						3
T. 14-1												1	1
T. 16-3												1	1
T. 19-6							1						1
T. 21-8					1								1
T. 1-11							1						1
T. 18-4											1	1	2
T. 19-5	1							1					2
T. 5-14		1											1
T. 9-18	1												1
T. 10-19										1			1
T. 13-22		1	1							1			3
T. 14-23											1		1
T. 18-3		1									1		2
T. 19-4				1						1			2
T. 21-6	1												1
T. 2-10					1								1
T. 3-11						1							1
T. 4-12		1											1
T. 5-13										1	1	1	3
T. 8-16	1					1	1		1				4
T. 9-17											1	1	2
T. 12-20									1				1
T. 13-21									1				1
T. 15-23	1												1
T. 16-0					1								1
T. 17-1					1			1					2
T. 18-2								1					1
T. 20-4		1	1			1			1				4
T. 3-10								1					1
T. 4-11										1	1	1	3
T. 5-12			1	1		1			1				4
T. 6-13	1							1					2
T. 7-14	1						1						2
T. 8-15					1							1	2
T. 9-16				1	1			1		1			4
T. 10-17		1					1	1					3
T. 11-18						1							1
T. 14-21	1												1
T. 17-0	1	1	1	1		1	1		1	1			8
T. 18-1							1						1
T. 19-2						1							1
T. 20-3										1	1		2
T. 21-4									1				1
Total	9	8	6	7	7	8	8	8	7	8	8	8	92

Sombreados los de mayor dificultad en los inicios de jornada (franjas entre 1 y 6).
Fuente: Elaboración propia.

Resultan un total de 49 horarios distintos, siendo el más frecuente el de 17hs a 0hs en 8 meses distintos. A continuación en la tabla 5.7, a modo de ejemplo, se expone la solución

Capítulo 5.- Optimización de la plantilla del *call center* del Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

de marzo, en la que 1 persona ha de trabajar en el horario indicado, excepto el turno de 20 a 4 horas en el que inician la jornada 2 personas a la vez.

Tabla 5.7: Solución de marzo a la programación de turnos para la optimización de la plantilla de Médicos coordinadores en el Servicio Provincial de Málaga. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias.

Tipo Turno	T. 5-16	T. 8-19	T. 13-22	T. 20-4	T. 5-12	T. 17-0		
Nº Personas	1	1	1	2	1	1		
Horas Turno	12	12	10	9	8	8	Necesidades	Resultado
Franja 0				1		1	3 >=	3
Franja 1				1			2 >=	2
Franja 2				1			2 >=	2
Franja 3				1			2 >=	2
Franja 4				1			2 >=	2
Franja 5	1					1	2 >=	2
Franja 6	1					1	2 >=	2
Franja 7	1					1	2 >=	2
Franja 8	1	1				1	3 >=	3
Franja 9	1	1				1	3 >=	3
Franja 10	1	1				1	3 >=	3
Franja 11	1	1				1	3 >=	3
Franja 12	1	1				1	3 >=	3
Franja 13	1	1	1				3 >=	3
Franja 14	1	1	1				3 >=	3
Franja 15	1	1	1				3 >=	3
Franja 16	1	1	1				3 >=	3
Franja 17		1	1			1	3 >=	3
Franja 18		1	1			1	3 >=	3
Franja 19		1	1			1	3 >=	3
Franja 20			1	1		1	4 >=	4
Franja 21			1	1		1	4 >=	4
Franja 22			1	1		1	4 >=	4
Franja 23				1			3 >=	3
Total							68	68

Fuente: Elaboración propia.

5.3 CONCLUSIONES

Este capítulo presenta una metodología con un doble objetivo, generar y conocer el conjunto de horarios que mejor se adaptan a las necesidades de recursos humanos que operan en el centro de atención de llamadas de emergencias sanitarias; y optimizar el excedente de horas de personal que se suele dar al aplicar las condiciones de la legislación laboral vigente. La adherencia conseguida del 95,10% es alta, de acuerdo a la evidencia empírica (Centeno *et al*, 2003; Diego *et al*, 2009; Ojeda, 2012; Corominas *et al*, 2009).

La aplicación de técnicas de programación lineal es de las más habituales en el problema del *Scheduling*, aunque en ocasiones el número de variables resulta excesivo y es más adecuado acudir a técnicas metaheurísticas. En este caso, a pesar del gran número de variables, es posible resolverlo por métodos exactos, por lo que es aconsejable este planteamiento.

Para el puesto de teleoperador y operador de radio se ha obtenido una gran variedad de horarios de aplicación que incrementarían el coste en un 4,90% respecto a las necesidades y un 9,32% para el modelo que considera una mayor estabilidad de turnos, con objeto de tener en cuenta la satisfacción del personal. De un lado esa gran variedad implica que ha

de acudir a formas de flexibilización de la jornada laboral, tales como cuentas de horas o anualización de las jornadas de trabajo, en las que deben yuxtaponerse jornadas largas con cortas. El convenio colectivo prevé una distribución irregular de la jornada con máximos en cómputo semanal, y acuerdos con trabajadores. De otro lado, el incremento de coste ha de evaluarse en términos de restricción presupuestaria, ya que si no es posible aceptarlo caben, al menos, dos posibilidades: bien recalcular las necesidades rebajando los niveles de servicio para que los incrementos de personal se puedan absorber presupuestariamente, bien analizar los periodos de mayor desajuste para estudiar la posibilidad de violar algunas restricciones en esas franjas y meses sin que afecte de manera notable al nivel de servicio.

Una aportación interesante, dado que el objetivo ha sido obtener un conjunto de horarios que minimice la cantidad necesaria de personal, para un nivel de servicio dado, es que se tiene un punto de partida para cuantificar los cambios que deban hacerse en una negociación con los empleados o con las empresas subcontratistas. Es decir, ceder a determinados horarios no incluidos en los calculados va a suponer mayor coste de los servicios y además se sabrá cuantos recursos financieros adicionales serán necesarios.

Para los médicos coordinadores se han obtenido un amplio conjunto de horarios que minimizan las necesidades con idea de poner de manifiesto la escasa flexibilidad de turnos exclusivos de 12 horas. En el intervalo de turnos de 12 horas a 8 horas es posible encontrar combinaciones que ajustan las necesidades a los requerimientos. Al igual que con los puestos de teleoperadores, el hecho de no aceptar estos horarios redonda bien en un peor nivel de servicio, bien en notables sobrecostes, y también aporta un punto inicial en las negociaciones para exponer cuanto cuesta a EPES la no consideración de los turnos que optimizan las necesidades de personal.

Las franjas horarias de mayor desajuste se corresponden con baja actividad, que es cuando menos personas se necesitan, debido a que el efecto relativo del disponer de alguna persona más trabajando es mayor que cuando se produce en franjas de baja actividad. Con respecto a los meses, se ha conseguido estabilizar, sin que los desajustes sean muy dispares según el tipo de mes, por lo que la metodología es robusta para la segmentación en meses.

La principal limitación de los resultados de este capítulo es que se han obtenido una gran cantidad de turnos distintos que varían de un mes a otro, lo que podría implicar conflictos con el personal, debido a la inestabilidad en la frecuencia de desarrollar sus funciones laborales. Sin embargo, estos resultados también ponen de relieve al gestor cuanto cuesta la rigidez horaria y lo dota de una herramienta de cálculo que cuantifica las decisiones adoptadas, en términos de coste de personal o subcontratación, si es el caso.

Una línea de investigación futura interesante es la aplicación del planteamiento del modelo a horarios fijados entre las partes, y en especial, afrontar el problema de *rostering* a partir de las soluciones obtenidas, planteando una función objetivo que minimice el coste de asignar una persona (variable binaria que toma valor 1 si es asignado y 0 si no lo es) al conjunto de semanas, días, meses, turnos y modalidad de puesto. De forma jerárquica, una vez resuelto el problema anterior, se toma como entrada para resolver una nueva función objetivo que maximice las preferencias de las personas por determinados turnos, con las mismas restricciones anteriores. Otra línea interesante de extensión de este capítulo sería aplicar modelos de decisión multicriterio, tales como programación multiobjetivo, compromiso y por metas, que consideran las violaciones de las restricciones de forma más flexible y permiten incluir de manera compacta otros aspectos,

Capítulo 5.- Optimización de la plantilla del *call center* del Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias de Andalucía.

como las preferencias de los gestores, niveles de servicio, costes, medidas de desempeño de las operaciones, e incluso niveles de riesgo de las decisiones.

En resumen, se prueba que la técnica de programación lineal entera resuelve la generación de horarios óptimos para cubrir las necesidades de personal, indicando cuantas personas y en qué turnos deben iniciar su actividad laboral. Aporta información adicional de cuales serían los costes incrementales de cambiar determinados turnos, y que es posible resolver problemas de un tamaño mediano de variables con *software* estándar al alcance de los gestores. Por tanto, es el complemento adecuado para poner en práctica el cálculo de necesidades de recursos humanos.



CONCLUSIONES

El primer capítulo es descriptivo de las operaciones que se realizan en el *call-center* y exploratorio de los resultados de los eventos y tiempos más relevantes (*Call center metrics*): número de llamadas recibidas, perdidas, escuchas emitidas, escuchas atendidas, llamadas emitidas o salientes, tiempos de respuesta a las llamadas recibidas, tiempos de servicio de las llamadas atendidas, tiempos de ocupación de la escucha, y de las llamadas salientes; observándose perfiles variables en cuanto al número de eventos a lo largo de las franjas horarias, meses, tipos de línea y en menor medida días de la semana, así como tiempos variables con menor dispersión que los eventos. Se ha comprobado que carecen de diagramas de flujo que aclaren la intervención a realizar según el tipo de demanda. Así se recomienda que partiendo del diagrama de bloques funcional expuesto en el anexo II (*Workflow*), se amplíen los subprocesos con objeto de aclarar las operaciones que a su vez mejoren los sistemas de información. Una deficiencia encontrada es que no se dispone de la trazabilidad de escuchas emitidas y aceptadas por tipos de líneas, ni de las llamadas emitidas y sus tiempos de ocupación, permitiendo una mejora de esta trazabilidad un conocimiento más adecuado de las cargas de operaciones por tipos de líneas.

La medición del rendimiento del funcionamiento del *call center* se puede sintetizar en dos indicadores (*Performance Measurement*). El primero es el porcentaje ajustado de llamadas perdidas que se ha situado cerca del 5% (13% para las llamadas perdidas totales sin ajustar), y el segundo determina el nivel de servicio de las llamadas atendidas, tal es el porcentaje de llamadas atendidas en periodos de tiempo. En este caso se ha alcanzado el 86% de llamadas en 20 segundos o menos (70% en menos de 10 segundos). Esta información debería convertirse en objetivos de rendimiento del *call-center* y las acciones encaminadas a modificaciones de las operaciones deberían tener en cuenta el efecto sobre estos indicadores.

En general, se pueden establecer las siguientes consideraciones y recomendaciones que integran los resultados expuestos en el desarrollo de las operaciones del *call-center* de emergencias sanitarias:

1. El núcleo de la definición de servicios en los pliegos de contratación del servicio de teleoperación ha de incluir el porcentaje de llamadas perdidas y el nivel de servicio solicitado como base de la oferta publicada, acompañada de información de los eventos y tiempos analizados.
2. La metodología y análisis aplicado son susceptibles de ser extrapolados a otros servicios provinciales de EPES, y a cualquier otro call center. Lo que redundará en una mejora del conocimiento de las demandas solicitadas y comprensión de necesidades y expectativas de los clientes y usuarios.

En el capítulo 2 se han aplicado de forma combinada las técnicas de análisis de supervivencia (*Impatience*), modelos de pronóstico y modelos de clasificación de llamadas en perdidas y atendidas (*Abandonment*) orientadas respectivamente a la comprensión del mecanismo generador de la impaciencia de los usuarios, la toma de decisiones basada en el conocimiento del pronóstico de llamadas perdidas agrupadas en franjas horarias y meses, que suponen la base de la planificación de las necesidades de personal para atender las operaciones de cualquier *call-center*; y la obtención de un instrumento fiable que infiera probabilidades de discriminar los escenarios de mayor riesgo de llamadas perdidas. El análisis conjunto de las técnicas facilita optimizar la gestión de las llamadas perdidas, aplicando modelos que tienen en cuenta las observaciones censuradas, además de ampliar el marco tradicional de estudio de dichas llamadas perdidas con modelos de regresión de datos de recuento y modelos de

clasificación basados en análisis estadístico multivariante y redes neuronales artificiales, permitiendo todo ello poner en relación variables de oferta y demanda.

En el primer bloque metodológico del capítulo 2, el análisis de supervivencia (*Impatience*) muestra para el caso concreto de EPES, que no ha sido posible encontrar un ajuste paramétrico ni semiparamétrico a la observación empírica de la supervivencia y riesgo de las llamadas recibidas de gran exactitud, aunque sí aceptables (coeficiente de correlación de 0,915 sin diferenciar tipos de líneas). La regresión de Cox sobrestima ligeramente la supervivencia, al contrario que los ajustes paramétricos y modelo de fallo acelerado, aunque ambos estiman que el incremento de efectivos (operadores y médicos coordinadores) reducirían las llamadas perdidas, en especial el rol de médico coordinador, reconociendo una distinta impaciencia según el tipo de línea. En concreto, en la regresión de Cox el médico coordinador reduce un 24,1% el riesgo de llamadas perdidas, y en el modelo de fallo acelerado se muestra un efecto de incremento de 4,04 segundos en los tiempos de paciencia de los llamantes. Los escasos trabajos publicados indican que es posible aplicar la regresión de Cox, pero que no es fácil que se cumplan los supuestos de proporcionalidad a lo largo del tiempo de observación (Feigin, 2006) y aunque es cierto, como se ha probado para el caso de EPES, es posible aplicar una versión extendida que tenga en cuenta al tiempo como covariable, resultando que la mayor influencia se produce por el transcurso de los segundos hasta atender la llamada y a pesar de que ello es debido a la demanda y oferta de servicio, es posible asegurar la significación de los recursos dispuestos, independientemente del tiempo que transcurra, actuando como mecanismo protector de las llamadas perdidas.

El comportamiento de los usuarios de las distintas líneas es distinto en lo que respecta a su paciencia y no se puede afirmar que tenga relación exclusivamente con la situación de emergencia. La línea de Urgencias comparte rasgos comunes con la de 061, pues la comunicación es con usuarios, aunque la situación podría ser de menos gravedad, mostrándose más pacientes hasta los 45 segundos para posteriormente abandonar la comunicación muy rápidamente. Además, se ha podido constatar que los ajustes paramétricos proporcionan funciones de supervivencia muy dispares según el tipo de línea, lo que confirma el distinto comportamiento de los usuarios según este parámetro.

Existen razones para pensar que estos diferentes grados de impaciencia no se deben al azar. En la escasa evidencia empírica publicada, en Jouinie *et al* (2013), el análisis de la impaciencia en cuatro empresas de diversos sectores tales como banca y servicios sanitarios, se observa una alta impaciencia inicial y distintos comportamientos según los servicios que se ofrecen. Por lo que los resultados obtenidos están en línea con lo que ocurre empíricamente, la impaciencia dependerá de la urgencia de comunicar y de factores subjetivos de cada persona, siendo los modelos más adecuados para su análisis los expuestos que serían generalizables a cualquier *call center*.

De los modelos ajustados de supervivencia, el estimador Kaplan-Meier ofrece los resultados más realistas que se pueden complementar, aunque con precauciones, con la influencia que ejercen las variables médico coordinador, y tipo de línea. Dado que una de las críticas que suele vertirse sobre el ajuste de Kaplan-Meier se refiere a que no ofrece una formulación compacta y es necesario disponer de todo el rango de valores para calcular la supervivencia, se ha ajustado una regresión cúbica que palia esta crítica y con tan sólo indicar el número de segundos proporciona la probabilidad de supervivencia.

La impaciencia media varía entre modelos, situándose en 43 segundos por el método de Kaplan-Meier y en 41 segundos en los modelos paramétricos, con mínimos de 25 segundos y variaciones en función del tipo de línea. Es posible estimar dicha impaciencia

en el rango de 35-50 segundos desde los momentos de mayor número de llamadas perdidas hasta los de menos, teniendo en cuenta las proporciones de llamadas por los diferentes tipos de líneas. Estas cifras no son coincidentes con los trabajos de Mandelbaum *et al* (2013), que situaban la impaciencia en el rango de 5 a 20 minutos, aunque su trabajo está realizado para un centro de atención de llamadas de servicios financieros, en el que pudieron observar durante varias horas el comportamiento de paciencia al estar incomunicado el *call center* por una avería en la recepción de llamadas. Aunque si coincide con su apreciación de que cada *call center* es muy singular, por lo que es recomendable ensayar la aplicación de las diversas técnicas del análisis de supervivencia.

Para el segundo bloque metrológico del capítulo 2, con el objetivo de pronosticar el número de llamadas perdidas (*Abandonment*), el análisis de componentes principales identifica una primera componente relacionada con el dimensionamiento de los recursos, que agrupa las variables hora, médico coordinador y operador. La segunda componente relaciona la impaciencia con el tipo de línea del usuario, y la tercera el momento temporal (mes y día de la semana). Por ello, se puede concluir que el dimensionamiento es crucial para evitar la variabilidad de llamadas perdidas, así como tener en cuenta los distintos grados de impaciencia de los usuarios, y que además no es homogéneo en el tiempo, sino que los meses y días de mayor afluencia de llamadas se producen llamadas perdidas más que proporcionalmente. Este resultado se confirma con el análisis cluster, teniendo en cuenta la similitud de las variables, ya que se obtiene la misma agrupación. Por su parte, el cluster con disimilitud revela que las variables médico coordinador y operador están íntimamente relacionadas. Estas consideraciones pueden servir para tratar de incluir variables resumen (por ejemplo porcentaje de ocupación del sistema – agregación de ocupación de operador y médico coordinador-) en los posteriores análisis de llamadas perdidas por franja y mes, ya que advierten de los posibles problemas de multicolinealidad de las variables, hecho que ocurre en el modelo de regresión lineal múltiple, en el que se incluyen las variables del primer componente del análisis de componentes principales además del tiempo de espera hasta perderse la llamada, que resultó no significativo. Además el modelo de regresión lineal estimó 640 franjas con valores negativos, hecho que dificulta notablemente considerar su aplicación.

Los resultados de los modelos lineales generalizados, no son muy precisos, presentando errores de hasta el 50% y número de llamadas promedio de error de entre 3,7 y 5 por cada franja de cada mes, sin embargo, cuando se agrupan para el total de cada franja de cada mes los errores en MAPE se sitúan en el 11%, combinando las estimaciones de los modelos. Ha de tenerse en cuenta que el promedio de llamadas perdidas por franjas es algo más de 8 y en las franjas de madrugada no llegan a 2, por lo que es de esperar unas desviaciones relativas altas. Dado que ninguno de los modelos ha presentado una superioridad absoluta sobre los demás, siendo los de mejores ajustes la regresión binomial negativa y Normal con enlace logarítmico, lo idóneo es combinar los modelos en aquellas franjas que se han mostrado más precisos, concretamente la regresión binomial negativa en las franjas de 1-7 horas y 12-19 horas, y la regresión normal con función de enlace logaritmo para el resto.

Hay que destacar que la variable tiempo hasta que se pierde la llamada (impaciencia) no ha resultado significativa en algunos de los modelos, dando a entender que no ha sido influyente para el volumen de llamadas perdidas. Sin embargo si lo es el tiempo hasta que se atiende la llamada, incrementándose el riesgo de que se pierda la llamada en un 3,3% por cada segundo que transcurra. Puede concluirse, por tanto, que el tiempo transcurrido

si afecta al abandono de la llamada, siendo congruente con las conclusiones del análisis de supervivencia y con los trabajos citados.

La importancia del dimensionamiento puede concluirse del efecto de interacción de la variables operador y médico coordinador, que influyen en la pérdida de llamadas, entre un 2,8% y un 12% según modelos y que se corresponden con la alta y baja actividad respectivamente. Como era de esperar la aportación de los recursos operador y médico coordinador ayudan a que se pierdan menos llamadas, reduciéndose el riesgo entre un 46% y un 5% (baja y alta actividad) para el caso del médico coordinador, y reduciéndose entre un 24% y un 7% (baja y alta actividad) para el caso del operador. Aunque la influencia del médico coordinador es mayor que la del operador, la interacción de ambos presenta un mayor riesgo en baja actividad ya que el dimensionamiento es aproximadamente la mitad que en alta actividad, lo que provoca una mayor variación en llamadas perdidas si no se disponen de los efectivos necesarios. Estos resultados podrían indicar la posibilidad de que el médico coordinador pueda constituir un cuello de botella. Aunque los resultados no son generalizables, si lo es la metodología a efectos de evaluar las interacciones entre puestos distintos que suelen darse en cualquier call center, en los que es habitual la presencia de operadores y distintos grados de supervisores.

Las llamadas recibidas incrementan también el número de llamadas perdidas entre un 4,6% y 2,5% por cada una, lo que explica que en las franjas de alta actividad la pérdida de llamadas sea más que proporcional.

En resumen, el número de llamadas recibidas, tiempos hasta que son atendidas y la interacción del dimensionamiento incrementan los riesgos de pérdidas, que se mitigan por la acción de los recursos dispuestos para atender la demanda. El pronóstico de llamadas perdidas por franja y mes podría agruparse por este último factor para complementar a los modelos de pronóstico de llamadas recibidas analizados en el capítulo 3 con objeto de obtener una mejor previsión de la demanda que apoye un dimensionamiento adecuado que se ha calculado en el capítulo 4.

Aunque la inclusión de las variables franja y mes mejoraron ligeramente la bondad del ajuste y la capacidad predictiva de todos los modelos, fue a costa de la pérdida de significación de las variables de operadores y médicos coordinadores, tanto en los modelos lineales generalizados como en la regresión de cox y modelos de fallo acelerado del análisis de supervivencia. Este hecho indica que se produce un efecto sustitución de las explicaciones basadas en los recursos disponibles a la localización temporal de la variabilidad, lo que implica desde un punto de vista de la gestión suponer que los recursos puestos a disposición de la prestación de servicios no influyen en las llamadas perdidas y si son influyentes los momentos temporales en los que se producen, siendo justamente esta última afirmación la consecuencia de los recursos dispuestos. En otras palabras, el dimensionamiento dispuesto para la demanda real debe influir en el número de llamadas perdidas, y éstas se producen en momentos temporales en los que el dimensionamiento no es del todo adecuado. Por ello, en estos modelos no es recomendable incluir variables de localización temporal para cualquier tipología de *call center*.

Para el tercer bloque metodológico del capítulo 2, con objeto de clasificar las llamadas, los resultados obtenidos son aceptables, globalmente considerados, siendo la red MLP (perceptrón multicapa) la de mejor resultado junto con el análisis discriminante. Los otros dos modelos, red RBF (red de base radial) y regresión logística binaria no permiten discriminar adecuadamente las llamadas perdidas. Los valores predictivos negativos son muy imprecisos, la red MLP clasifica adecuadamente el 25,27% de las llamadas perdidas, sin embargo los valores predictivos positivos son altísimos. La curva ROC calculada para

la comparación de modelos muestra un área bajo la curva de 0,81 que confirma una buena capacidad como instrumento de clasificación.

El tipo de línea y el tiempo transcurrido hasta la atención o pérdida de la llamada son las variables de mayor influencia en la red MLP, con casi el doble de valor que los recursos dispuestos (operador y médico coordinador). Estos resultados no son coincidentes con los obtenidos del análisis de componentes principales, en el que los recursos dispuestos y la demanda explicaban la mayor parte de la variabilidad, pero dado que el tiempo y tipo de línea son la consecuencia del dimensionamiento ofertado para la demanda real es razonable esperar que a efectos de clasificar la llamada en perdida o atendida tengan mayor capacidad discriminatoria. Dado que es un instrumento de clasificación, su objetivo es determinar si en esas circunstancias la llamada será atendida o no, es algo análogo a un análisis de sangre para determinar si se padece un nivel de glucosa alto. El objetivo no es averiguar las causas de la diabetes, sino determinar si se padece o no diabetes de acuerdo a los resultados del análisis de sangre.

Todos los análisis el capítulo 2 conducen a que una mayor oferta de recursos adecuadamente dimensionados reducen el número de llamadas perdidas, asimismo tras los resultados en los tres bloques metodológicos, la inclusión de variables *dummies* de mes, hora y día de la semana distorsionan los resultados ya que, como es de esperar, lo que ocurre en esos espacios temporales depende de la demanda y la oferta.

Las principales limitaciones del trabajo realizado sobre las llamadas perdidas están intrínsecamente relacionadas con la escasa capacidad de generalización de los resultados, para cualquier centro de atención de llamadas o *call-center*, dado que la estructura de las operaciones va a determinar los resultados sobre impaciencia de sus usuarios, y teniendo en cuenta que el volumen de información censurada es muy importante, la estabilidad de los tiempos de impaciencia es muy volátil en función del tipo de centro de atención. No obstante la aplicación de las metodologías aplicadas permite ampliar el conocimiento del comportamiento de los usuarios para aplicar otros modelos de dimensionamiento como los expuestos en el capítulo 4, además de ser recomendable su aplicación comparada, lo que si es extrapolable, al objeto de dar robustez a las conclusiones.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos para el *call-center* de EPES se recomienda aplicar el estimador de Kaplan-Meier para obtener el tiempo de impaciencia empírico, una combinación de los modelos de regresión binomial negativa para periodos de baja y media actividad junto con una regresión normal con enlace logaritmo para periodos de alta actividad y una red neuronal perceptrón multicapa para la clasificación de llamadas.

En resumen, es recomendable la aplicación de modelos de análisis de supervivencia, que tienen en cuenta la presencia de observaciones censuradas, ya que muestra como a pesar de que en los 10 primeros segundos se pierden dos tercios del total de llamadas, la probabilidad de supervivencia es alta, dado que el 70% de las llamadas atendidas totales también ocurren en ese intervalo temporal, además de proporcionar un tiempo de impaciencia (35-50 segundos) para aplicar a modelos de colas. Los bloques metodológicos siguientes no han sido explorados por la literatura en *call-centers*, y aportan un complemento de ajuste a la demanda cuando se pronostica el número de llamadas recibidas, además de aflorar factores (franja horaria, mes, día de la semana) que introducen confusión en las variables realmente relevantes y ofrecer un modelo de clasificación de llamadas con un acierto razonable.

En el capítulo 3, para el pronóstico de la demanda de llamadas (*forecasting*) se ha evaluado la utilización conjunta de 6 modelos de series temporales, desarrollados con

software estándar. Algunos de los resultados coinciden con la evidencia empírica disponible. Por un lado, una mayor complejidad no va asociada necesariamente a mejoras del pronóstico (Taylor, 2008), y por otro, confirma la importancia de incorporar variables exógenas para mejorar los resultados (Taylor, 2008; Peña, 2005).

Existe variabilidad en los pronósticos de los modelos, aunque todos cumplen con la exigencia de un MAPE inferior al 5%; el modelo X-11, alisado de Winters y ARIMA con intervención, predicen mayor número de llamadas que las observadas, mientras que el armónico multiplicativo, ARIMAX y estructural armónico predicen menos. Los primeros son útiles como modelos de alerta ante comportamientos no habituales y los segundos, proporcionan un mayor conocimiento explicativo de las variaciones de la demanda. Por ejemplo, el modelo ARIMAX establece una asociación significativa entre las llamadas y los casos notificados de gripe, no encontrando sin embargo relación con la población y las pernoctaciones, posiblemente debido al componente autorregresivo, que captura la evolución en el mismo sentido de estas dos variables. Los resultados obtenidos en el modelo estructural armónico ponen de manifiesto la mayor propensión a llamar a centros de emergencias de las personas afectadas por gripe y la menor de la población que pernocta. Aunque una dificultad añadida de estos dos modelos consiste en la necesaria estimación a su vez de los valores previstos de las variables exógenas para el año siguiente.

El enfoque empleado permite la inclusión de otras variables exógenas (nivel de polución, tasas de accidentes de tráfico, tasa de incidencia de enfermedades cardiovasculares, temperatura ambiental, etc.) que podrían aumentar el poder explicativo del modelo estructural armónico, y ARIMAX. Carracedo *et al* (2008) encuentran relación entre niveles de polen e incremento de llamadas al servicio 061 de Galicia con retardos semanales, aunque no es un estudio longitudinal de varios años.

La visión conjunta de los modelos ofrece un rango de estimación anual de llamadas al servicio de emergencias para 2008, desde 557.672 hasta 613.960, siendo las reales 572.674. Este hecho enriquece la información al contemplar escenarios con posibles descensos, hecho constatado en 2008, lo que permite planificar cursos de acción alternativos de los recursos y establecer pronósticos que incorporen el conocimiento de modelos cuantitativos alternativos, además superan tanto en cuantificación como en conocimiento del fenómeno al método de proyección enfocada aplicado por EPES.

Los modelos de pronóstico de demanda calculados presentan la limitación de extrapolación de resultados a otras zonas geográficas que pudieran verse más afectadas por las variables exógenas mencionadas anteriormente. Sin embargo, la aplicación de los modelos presentados es adecuada y recomendable para cualquier centro de llamadas de emergencias sanitarias.

Para el dimensionamiento necesario de personal (*Staffing*), que se analiza en el capítulo 4, se presenta de una manera integral las fases de estudio del comportamiento del volumen de demanda de llamadas y tiempos de ocupación de cada uno de los puestos de trabajo involucrados en la atención, la aplicación del modelo de colas compatible con el mencionado comportamiento y la extensión a una red de colas de Jackson, que permite evaluar comparativamente la robustez de los resultados de carga de trabajo y cuellos de botella, en el marco de un equilibrio de nivel de calidad de servicio y aprovechamiento de los recursos.

Los resultados coinciden con la evidencia empírica disponible en *call centers* de emergencias (Channouf et al, 2007; Matteson et al, 2011), en cuanto a modelos de colas

aplicables, sin embargo, se aporta un marco de referencia más amplio y flexible enfatizando la identificación de los estados estacionarios.

La metodología aplicada para la identificación de estados estacionarios permite, independientemente de probar y descubrir el comportamiento de llamadas y tiempos (requisito imprescindible para aplicar un modelo de colas), mejorar el conocimiento de las relaciones entre las variables. Así el análisis discriminante aporta que las variables relacionadas con la estructura de oferta (número de médicos coordinadores y teleoperadores) son las de mayor capacidad de diferenciación, seguidas de las variables de demanda (llamadas recibidas e índice mes). Los coeficientes de estructura (Tabla 4.4) muestran que las variables número de médicos coordinadores y número de operadores son las más correlacionadas con cada una de las funciones discriminantes, seguidas del número de llamadas recibidas y el índice de mes. Las dimensiones de oferta y estructura son, por tanto, las que más influyen en el poder discriminatorio. Dado que la dimensión de recursos está en función de la demanda, también es posible interpretar que la demanda influye en la dimensión de recursos y es por tanto la inductora primaria del poder discriminatorio. Son estas variables las que entran en juego posteriormente, ya que el objetivo de los modelos de colas es la planificación de necesidades de esos puestos, que depende de la demanda de llamadas recibidas y sus tiempos. También alerta de otras posibles agrupaciones de franjas que reducirían el número de ellas a programar para otros posibles objetivos de estudio.

La programación mensual de teleoperadores no se adapta al perfil necesario, dándose meses con excesos de recursos (febrero a noviembre) y meses con defecto (enero y diciembre), asimismo la programación diaria resulta excedente en las franjas de madrugada (1 a 7), tarde (14 y 18 a 19) y noche (23) e insuficiente en el resto de franjas. Los modelos de colas M/M/S (Erlang-C) mejoran el cálculo de las necesidades de teleoperadores, destacando un ahorro del 4,4%, mejora del tiempo de respuesta en un 38% y del nivel de servicio en un 23%. El modelo M/M/S+k (Erlang-A) indica una reducción de las llamadas perdidas del 12,7% al 6,58% lo que supone una mejora del 48% en este indicador clave. El nivel de servicio pasaría del 70% de llamadas atendidas antes de 10 segundos a casi el 90% (M/M/S) o el 93% (M/M/S+k), y el tiempo de respuesta de 10,5 segundos a 6,5 (M/M/S) o 3 segundos (M/M/S+k). Las diferencias de indicadores de rendimiento entre los modelos de colas y la programación real, obtenidos en el capítulo 1, se explican porque con el dimensionamiento real se supone que siempre estarán presentes el número de médicos necesarios y en la realidad el dimensionamiento responde al número de personas que estarán en turnos y que necesariamente tomarán los descansos y pausas legales, lo que implica que en ocasiones no estarán presentes todos a la vez. Siguiendo en esa línea, se analizó el escenario de eliminar un teleoperador en cada franja y los resultados de llamadas perdidas y nivel de servicios se acercan a los valores observados en la realidad. En cuanto a las diferencias en los indicadores de rendimiento entre los modelos M/M/S y M/M/S+k se explican porque el primero supone una paciencia infinita del llamante que finalmente será atendido, mientras el segundo supone una impaciencia que supondrá el abandono (42 segundos de promedio calculado en el capítulo 2 por los modelos de supervivencia) y por tanto una menor carga de trabajo debido a que finalmente se atenderán menos llamadas que las esperadas.

La hipótesis de emplear puestos polivalentes de teleoperadores y operadores de radio con objeto de aprovechar las economías de escala plantea un ahorro potencial de 290.000 euros, si bien es cierto que deberían afrontarse costes adicionales de formación y un periodo de transición a la nueva operativa. El hecho de que ya se opere de esta forma en las franjas de 22 a 7 induce a que la adaptación podría producirse con éxito.

Los médicos coordinadores se encuentran infradotados en las franjas de 8 a 11, en especial, en los meses de alta actividad (enero, julio, agosto y diciembre) y sobredimensionados en las franjas de 14 a 17. Aunque el número total de efectivos sea prácticamente coincidente, tanto en los modelos de colas como en la programación real, lo que se produce es una compensación entre franjas y meses. El cálculo de los modelos de colas plantea mejoras en sus medidas de desempeño, destacando el porcentaje de escuchas perdidas, que pasa del 11,1% al 4,46%; esto supone una mejora en el proceso de atención de las llamadas de emergencia, que repercute en un menor tiempo de ocupación en el teleoperador.

Del análisis de la red de colas acíclica de Jackson se deduce que la actividad del médico coordinador se conforma como el cuello de botella del flujo de operaciones, o lo que es lo mismo, de variaciones en la demanda surgirán variaciones notables en la actividad del médico coordinador. La aplicación de modelos de red de colas implica que cuando se pueden establecer relaciones funcionales entre los puestos, es posible determinar, aunque sea aproximadamente, el efecto que podría producir incrementos de llamadas en las necesidades de recursos, para así poder equilibrar el nivel de servicio. Para ello, bastaría con conocer la tasa de entradas, tiempos de servicio, y sus distribuciones, con objeto de poder aplicar los modelos explicitados. En alta actividad (franjas de más de 120 llamadas por hora), los médicos coordinadores están cerca del límite máximo de ocupación, sin embargo, en baja actividad los recursos humanos disfrutan de una carga razonable de acuerdo al nivel de servicio deseado. No se ha podido realizar un análisis exhaustivo de todas las franjas y meses desde la óptica de la red de Jackson, pero los resultados muestran que se producen transferencias de cargas de trabajo del teleoperador al médico coordinador y operador de radio. El enfoque de redes de colas no suele estar presente en los estudios relacionados con la operativa de *call center*, lo que supone una novedad metodológica prometedora que permite la contrastación de la robustez de los resultados de los modelos de colas convencionales.

Se recomienda la aplicación de técnicas analíticas como los modelos de colas, que potenciarían otras técnicas más al uso de la gestión empresarial como el análisis de procesos. Resulta fundamental y primario conocer el funcionamiento y posibles reacciones del proceso en estudio, para integrar esta información proveniente de la investigación de operaciones con otras técnicas del *management*.

Este estudio del dimensionamiento de personal necesario presenta la limitación de extrapolación de resultados a otras zonas geográficas que pudieran verse afectadas por variables de salud y comportamiento distintas y, en especial, operativa diferente del *call center*. Sin embargo, la aplicación de los modelos presentados es adecuada y recomendable para cualquier *call center*.

El siguiente paso, una vez conocidas las necesidades de personal calculadas en el capítulo 4, es la optimización de la plantilla (*Scheduling*), que se presenta en el capítulo 5 con un doble objetivo, generar y conocer el conjunto de horarios que mejor se adaptan a las necesidades de recursos humanos que operan en el centro de atención de llamadas de emergencias sanitarias; y optimizar el excedente de horas de personal que se suele dar al aplicar las condiciones de la legislación laboral vigente.

La aplicación de técnicas de programación lineal es de las más habituales en el problema del *Scheduling*, aunque en ocasiones el número de variables resulta excesivo y es más adecuado acudir a técnicas metaheurísticas. En este caso, a pesar del gran número de variables, es posible resolverlo por métodos exactos, por lo que es aconsejable este planteamiento.

Para el puesto de teleoperador y operador de radio se ha obtenido una gran variedad de horarios de aplicación que incrementarían el coste en un 4,90% respecto a las necesidades y un 9,32% para el modelo que considera una mayor estabilidad de turnos, con objeto de tener en cuenta la satisfacción del personal. De un lado esa gran variedad implica que ha de acudirse a formas de flexibilización de la jornada laboral, tales como cuentas de horas o anualización de las jornadas de trabajo, en las que deben yuxtaponerse jornadas largas con cortas. El convenio colectivo prevé una distribución irregular de la jornada con máximos en cómputo semanal, y acuerdos con trabajadores. De otro lado, el incremento de coste ha de evaluarse en términos de restricción presupuestaria, ya que si no es posible aceptarlo caben, al menos, dos posibilidades: bien recalcular las necesidades rebajando los niveles de servicio para que los incrementos de personal se puedan absorber presupuestariamente, bien analizar los periodos de mayor desajuste para estudiar la posibilidad de violar algunas restricciones en esas franjas y meses sin que afecte de manera notable al nivel de servicio.

Para los médicos coordinadores se han obtenido un amplio conjunto de horarios que minimizan las necesidades con idea de poner de manifiesto la escasa flexibilidad de turnos exclusivos de 12 horas. En el intervalo de turnos de 12 horas a 8 horas es posible encontrar combinaciones que ajustan las necesidades a los requerimientos. El hecho de no aceptar estos horarios redundaría bien en un nivel de servicio deficiente, bien en notables sobrecostes.

Una aportación interesante, dado que el objetivo ha sido obtener un conjunto de horarios que minimice la cantidad necesaria de personal, para un nivel de servicio dado, es que se tiene un punto de partida para cuantificar los cambios que deban hacerse en una negociación con los empleados o con las empresas subcontratistas. Es decir, ceder a determinados horarios no incluidos en los calculados va a suponer mayor coste de los servicios y además se sabrá cuantos recursos financieros adicionales serán necesarios.

Las franjas horarias de mayor desajuste se corresponden con baja actividad, que es cuando menos personas se necesitan, debido a que el efecto relativo del disponer de alguna persona más trabajando es mayor que cuando se produce en franjas de baja actividad. Con respecto a los meses, se ha conseguido estabilizar, sin que los desajustes sean muy dispares, por lo que la metodología es robusta para la segmentación en estos periodos temporales.

La principal limitación de estos resultados es que se han obtenido una gran cantidad de turnos distintos que varían de un mes a otro, lo que podría implicar conflictos con el personal, debido a la inestabilidad en la frecuencia de desarrollar sus funciones laborales. Sin embargo, también ponen de relieve al gestor cuanto cuesta la rigidez horaria y lo dota de una herramienta de cálculo que cuantifica las decisiones adoptadas, en términos de coste de personal o subcontratación, si es el caso.

En resumen, se prueba que la técnica de programación lineal entera resuelve la generación de horarios óptimos para cubrir las necesidades de personal, indicando cuantas personas y en qué turnos deben iniciar su actividad laboral. Aporta información adicional de cuales serían los costes incrementales de cambiar determinados turnos, además se prueba que es posible resolver problemas de un tamaño mediano de variables con *software* estándar al alcance de los gestores. Por tanto, es el complemento adecuado para poner en práctica el cálculo de necesidades de recursos humanos.

En cada uno de los capítulos, que van resolviendo fases secuenciales en la planificación de un *call center*, se plantean diversas líneas futuras de investigación. En el capítulo 1,

centrado en la descripción y análisis de las operaciones del *call-center* de emergencias sanitarias (*call center metrics, performance measurement, workflow*), resulta interesante la realización de un estudio de métodos y tiempos que permita valorar la eficacia de los planes de operación y mejoren el conocimiento de los tiempos de atención de los diversos puestos involucrados (teleoperador, médico coordinador y operador de radio). Con esta información y la procedente del resto de capítulos de esta tesis se estaría en condiciones de valorar la eficacia de la aplicación de metodologías procedentes del *Management* empresarial tales como el análisis de procesos, diagramas causa-efecto, diagramas de Pareto y AMFE (Análisis Modal Fallo Efecto).

Las futuras líneas de investigación en el análisis de llamadas perdidas (*abandonment, impatience*) del capítulo 2 sugieren otras metodologías alternativas, tales como los modelos multinivel, en los que se podría descomponer la varianza de acuerdo a factores que influyen en el nivel micro de cada llamada y un segundo nivel sobre franjas y meses, por lo que la aplicación de modelos multinivel de clasificación cruzada podrían arrojar luz sobre el mecanismo generador de datos necesario para aplicar sobre modelos de colas que optimicen el dimensionamiento. La aplicación de los modelos multinivel supondría un puente entre el primer bloque metodológico (análisis de supervivencia) y el segundo (pronóstico de llamadas por cada franja de cada mes), lo que supondría una novedad metodológica ya que no se conocen trabajos publicados en esta línea de investigación.

Las líneas futuras de investigación sobre el pronóstico de la demanda (*forecasting*) del capítulo 3 abren un amplio abanico de posibilidades, así dos extensiones posibles con los pronósticos calculados pueden ser, en primer lugar, la aplicación de algún método *top-down* (Taylor, 2008) para la asignación de llamadas a intervalos mensuales y por franjas horarias, que sería un complemento e *input* adecuado a los modelos de colas del capítulo 4 (desde la perspectiva de magnitudes previstas), que se basan en estados estacionarios por meses y franjas horarias. En segundo lugar, se pueden aplicar métodos de combinación de los pronósticos de los modelos al objeto de obtener resultados más precisos, aprovechando las mejores características de cada uno de ellos. Asimismo, una alternativa que podría mejorar las previsiones, es el pronóstico de las llamadas recibidas por tipo de línea (061, 112, urgencias, transporte, y otras), para poder contar con información más detallada. También sería interesante explorar la complementariedad de los pronósticos de llamadas perdidas del capítulo 2 con los actuales de llamadas recibidas, para determinar el número de llamadas atendidas, es decir, la demanda satisfecha.

En cuanto a la aplicación de otras metodologías para el pronóstico mensual de las llamadas recibidas, sería interesante la estimación de modelos de vectores autorregresivos (VAR), dada la flexibilidad que permiten al no ser necesario especificar una forma funcional inicial ni basarse en relaciones teóricas a priori (Pérez, 2006). Los modelos de cointegración, con los datos actuales, son de difícil implementación, dado que los órdenes de integración de las series (para hacerlas estacionarias) son distintos, pero la evolución a la baja de llamadas en 2008 conduciría a su posible consideración, de este modo, sería posible estimar las relaciones estables a largo plazo entre las variables (Pérez, 2006). La aplicación de los filtros de Hodrick-Prescott, y de Kalman podría considerarse, en la medida que se disponga de una serie con más observaciones (Cáceres *et al*, 2008). Para finalizar, existen múltiples trabajos de previsión basados en redes neuronales artificiales (RNA) que ofrecen resultados prometedores, aún reconociendo su posible aportación, plantean la dificultad de medición de muchas variables y la selección para la fase de entrenamiento (Martín, 2003), así como problemas de sobreparametrización.

La aplicación de otras metodologías para pronósticos de llamadas en intervalos más pequeños de tiempo sugiere que un abordaje muy útil en la planificación diaria de llamadas recibidas es el pronóstico en intervalos de una hora o inferiores, para ello podrían aplicarse modelos ARFIMA, que permiten un orden de integración fraccionado y por tanto poseen “memoria larga”, así como modelos SETAR y GARCH (Peña, 2005). También pueden ser de aplicación modelos con splines cúbicas para detectar estacionalidades mensuales, semanales, diarias y horarias. Martín (2008) analiza la estacionalidad de la demanda intradiaria de un servicio de urgencias hospitalario. En series financieras se ha implementado la hipótesis fractal y teoría del caos³¹ (Doldán, 2007), que permite obtener tanto relaciones a corto plazo (series diarias o inferiores en tiempo) como a medio y largo plazo (meses, años). Estas series poseen características parecidas a un camino aleatorio y movimiento browniano, pero también poseen una estructura de oscilaciones que reaccionan ante cambios externos. Por ello sería plausible su aplicación a las series de llamadas de un *call center*.

Las futuras líneas de trabajo y avances en el dimensionamiento de las necesidades de personal del capítulo 4 (*Staffing*) pasan por la consideración conjunta de las actividades de los distintos puestos de trabajo, así la extensión de la red de colas a todas las franjas y meses mejoraría el conocimiento de las cargas de ocupación. También la aplicación de modelos de simulación de eventos discretos para analizar el funcionamiento global del *call center*, Por ejemplo Gans *et al* (2003) se plantean una metodología consistente en que en primer lugar podría simularse el desempeño del sistema de colas y posteriormente aplicar modelos analíticos para refinar el cálculo de necesidades de personal de acuerdo a los niveles de servicio que se deseen ofertar.

En el problema de la optimización de plantilla (*Scheduling*) del capítulo 5, una línea de investigación futura interesante es la aplicación del planteamiento del modelo a horarios fijados entre las partes, y en especial, afrontar el problema de *rostering* a partir de las soluciones obtenidas, planteando una función objetivo que minimice el coste de asignar una persona (variable binaria que toma valor 1 si es asignado y 0 si no lo es) al conjunto de semanas, días, meses, turnos y modalidad de puesto. De forma jerárquica, una vez resuelto el problema anterior, se toma como entrada para resolver una nueva función objetivo que maximice las preferencias de las personas por determinados turnos, con las mismas restricciones anteriores. Otra línea interesante de extensión del problema de la optimización de plantillas sería aplicar modelos de decisión multicriterio, tales como programación multiobjetivo, compromiso y por metas, que consideran las violaciones de las restricciones de forma más flexible y permiten incluir otros aspectos, como las preferencias de los gestores, niveles de servicio, costes, medidas de desempeño de las operaciones, e incluso niveles de riesgo de las decisiones.

³¹ El Caos es una propiedad de muchos sistemas dinámicos no lineales cuyo concepto fundamental es determinar si es o no posible pronosticar el futuro de tales sistemas a partir de los datos actuales y con qué exactitud. La teoría del caos es la ciencia del proceso, el intento del conocimiento de lo que va a suceder, no de lo que es o de lo que permanecerá. Con ella lo desconocido se interpreta desde un punto de vista global, dejando de considerarlo desde el punto de vista del orden. Se interesa por lo aleatorio, lo complejo, los saltos súbitos de estado a partir de las bifurcaciones, intermitencias, complejidades y autoorganización. Incluye en su estudio la dimensión fraccional (fractal) que se refiere a la dependencia existente entre la cuantía de una medida y la escala utilizada para obtenerla. Este concepto es aplicable también al tiempo, en el que coexisten determinismo, aleatoriedad, orden y caos. Para medir la memoria de una serie temporal puede aplicarse el movimiento browniano, similar al movimiento errático de una partícula suspendida en un fluido que se resume con la fórmula $R=T^{1/2}$ donde R es la distancia recorrida por la partícula y T el tiempo invertido en el recorrido. Esta fórmula expresa la anualización de valores observados en determinados períodos de tiempo. El valor del exponente es 0,5 (1/2), sin embargo es posible probar con otros valores del exponente que capten mejor las oscilaciones de las series de datos, por lo que la formulación de la hipótesis fractal incluye el movimiento browniano como caso particular de otros movimientos de la serie temporal, que para datos de alta frecuencia es una alternativa muy interesante dados posibles comportamientos regulares por minutos, horas, días, semanas, meses y años.

En conclusión, la utilización conjunta de los distintos métodos de análisis aplicados en los cinco capítulos genera sinergias en el conocimiento de las operaciones en el *call center*, los mecanismos que provocan la pérdida de llamadas, los escenarios de demanda de emergencias sanitarias, el dimensionamiento adecuado al nivel de servicio ofertado, la optimización de plantilla teniendo en cuenta las necesidades de personal por franja y mes. Contribuyendo todo ello a una mayor eficiencia en la planificación a medio plazo de los recursos humanos disponibles, reduciendo costes y mejorando la calidad simultáneamente. Su desarrollo mediante *software* estándar, disminuye los costes de aprendizaje y aplicación de forma estable y periódica en los centros de emergencias. Aunque los resultados obtenidos son de aplicación al centro de atención de llamadas de EPES, la metodología es extrapolable a cualquier *call center* ya que se han planteado toda una gama de modelos alternativos y complementarios en cada capítulo, que pueden instrumentalizarse atendiendo a las características particulares de cada *call center*, por lo que no es posible recomendar exclusivamente alguno de ellos, sino que han de probarse para cada caso concreto dentro del amplio marco metodológico expuesto.

BIBLIOGRAFÍA

-
- Aeschbacher B. Solving a Large Scale Integer Program with Open-Source-Software. Tesis de la Universidad de Zurich (Suiza). 2012. Disponible en: <http://kent.dl.sourceforge.net/project/opensolver/OtherResources/Aeschbacher%20Masters%20Thesis%20Solving%20a%20Large%20Scale%20Integer%20Program.pdf>. Consultado: 08/01/2013.
 - Aguirre JA. Introducción al tratamiento de series temporales. Aplicación a las ciencias de la salud. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A., 1994.
 - Aldor-Noiman S, Feigin P, Mandelbaum A. Workload forecasting for a call center: methodology and a case study. *The Annals of Applied Statistics*, 2009, 4:1403-1447.
 - Alegre AR. Relaciones ontogénicas y espacio-temporales en la dieta del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en Perú, utilizando un Modelo Aditivo Generalizado. 2011. Tesis de la Universidad de Lima (Perú).
 - Altman DG, Goodman SN. Transfer of technology from statistical journals to the biomedical literature. Past trends and future predictions. *JAMA* 1994; 272:129-32.
 - Altman E, Borovkov AA. On the stability of retrial queues. *Queueing Systems*, 1997, 26(3/4): 343-363.
 - Álvarez JA, Corres MA. Modelos de sistemas prehospitalarios. *Avances en Emergencias y Resucitación*. (1996). Vol 1: 25-36.
 - Anderson R, Sweeney D y Williams T. Métodos cuantitativos para los negocios. Mexico: Séptima edición. Thomson Editores, S.A., 2001.
 - Andrews B, Cunningham SM. L.L. Bean improves call center forecasting. *Interfaces*, 1995, 25:1-13.
 - *Annals of Operations Research* 128, 17-20, 2004 Kluwer Academic Publishers. Manufactured in The Netherlands.
 - Atlason J, Epelman MA, Henderson SG. Call center staffing with simulation and cutting plane methods, *Annals of Operations Research* 127, 2004, 333-358.
 - Ausín P. Análisis Bayesiano de sistemas de colas. Tesis doctoral Universidad Carlos III. Departamento de Estadística y Econometría. 2003. Madrid.
 - Baccelli F, Hebuterne G. On queues with impatient customers. In *Performance '81*, 1981, pp 159-179. North-Holland.
 - Baker JR y Fitzpatrick KE. Determination of an optimal forecast model for ambulance demand using goal programming. *J Oper Res Soc* 1986;37:1047-59.
 - Barber P y González López-Valcárcel B. Simulación de una unidad hospitalaria de urgencias y su uso potencial para la gestión. *Gaceta Sanitaria*, 1994; 8:239-247.
 - Borst S, Mandelbaum A y Reiman M. Dimensioning large call centers. *Operation Research* 2004; 52:17-34.
 - Box G y Jenkins G. *Time series analysis: Forecasting and control*. San Francisco: Holden-Day, 1970.
 - Boxma OJ, De Waal PR. Multiserver queues with impatient customers. In J. Labetoulle and J.W. Roberts, editors, *Proceedings of the 14th International Teletraffic Congress 1994*, pages 743-756.
 - Brandt A, Brandt M. Asymptotic results and a Markovian approximation for the $M(n)/M(n)/s + GI$ system. *Queueing Systems*, 2002, 41(1/2):73-94.
 - Brandt A, Brandt M. On the $M(n)/M(m)/s$ queue with impatient calls. *Performance Evaluation*, 1999, 35(1):1-18.
 - Brown L, Gans N, Mandelbaum A, Sakov A, Shen H, Zeltyn S y Zhao L. Statistical analysis of a telephone call center: a queueing-science perspective. *J Am Stat Assoc* 2005;100:36-50.
 - Buffa E.S., Cosgrove M.J., Luce B.J. An integrated work shift scheduling system. *Decision Sciences*, 1976, 7, 620-630.
 - Burke PJ. The output of a queueing system. *Operation Research* 1956;4(6):699-704.
 - Cáceres Hernández JJ, Martín Rodríguez G, Martín Álvarez FJ. Introducción al análisis univariante de series temporales económicas. Madrid: Delta publicaciones universitarias, 2008.

-
- Candy S. Modelling catch and effort data using generalised linear models, the Tweedie distribution, and random vessel effects: Longline fishery for *Dissostichus eleginoides* in CCAMLR Area 48.3. CCAMLR document. 2004. WG-FSA SAM-03/12:36 p.
 - Cao R. Introducción a la simulación y a la teoría de colas. La Coruña: Editorial Netbiblo, S.L., 2002.
 - Caprara A, Monaci M, Toth P. Models and algorithms for a staff scheduling problema. Springer, Math. Program. 2003, Ser. B 98: 445-476.
 - Carracedo Martínez E, Sánchez C, Taracido M, Saenz M, Jato V y Figueiras A. Effect of short-term exposure to air pollution and pollen on medical emergency calls: a case-crossover study in Spain. *Allergy* 2008;63:347–53.
 - Casas Sánchez JM. Introducción a la estadística para economía. Madrid: Centro de Estudios Ramón Areces, S.A., 1999.
 - Centeno M, Giachetti R, Linn R, Abdillah M. A simulation-ILP based tool for scheduling ER staff. Proceedings of the 2003 winter simulation conference. 2003: 1930-1938.
 - Cezik MT, L'Ecuyer P. Staffing multi-skill call centers via linear programming and simulation. *Management Science*, 2008, 54(2): 310-323.
 - Cleveland y otros “Call Center Management on Fast forward: Succeeding in Today's Dynamic Inbound Environment”. USA 1997.
 - Consulting Adim S.L “Reingeniería de procesos y costes ABC/ABM”. Valencia 1997.
 - Corominas A, Coves A, Lusa A, Ojeda J, Pastor R. Organización del tiempo de trabajo, competitividad y calidad de vida. Ayuntamiento de Barcelona. 2009. Colección Dossiers del Tiempo.
 - Cunha M. Métodos Numéricos, 2000, 2a ed. São Paulo: Unicamp.
 - Channouf N, L'Ecuyer P, Ingolfsson A y Avramidis. A. The application of forecasting techniques to modeling emergency medical system calls in Calgary, Alberta. *Health Care Manage Sci* 2007;10:25-45.
 - Dai JG, He S. Queues in Service Systems: Customer Abandonment and Diffusion Approximations. *Tutorials in Operations Research*, 2011, pages 36-59.
 - Dantzig G.B. (1954), A comment on Edie's traffic delays at toll booths, *Operations Research* 2 (1954), no. 3, 339–341.
 - Díaz MP. Documentación de Modelos Lineales Generalizados Aplicados a las Ciencias Biológicas. Universidad de Córdoba (Argentina). 2011. Disponible en: http://medicina.uncoma.edu.ar/download/postgrado/curso_modelos_lineales_generalizados_aplicados_a_ciencias_biologicas.pdf. Consultado 18/04/2013.
 - Diego FJ, González JA, Carrasco J. Optimización de cuadrantes de turnos para el personal de atención de vuelos en tierra. Dirección y Organización 2009, Nº 37.
 - Dietz D. Practical Scheduling for call center operations. *Omega* 2011, 39: 550-557.
 - Documentación de la Unidad de Bioestadística del Hospital Ramón y Cajal de Madrid. Disponible en: http://www.hrc.es/bioest/Supervivencia_1.html. Consultado: 08/05/2013.
 - Doldán F. La hipótesis fractal como marco para la investigación de los mercados financieros. Aplicación del análisis R/S al caso español. El comportamiento de la empresa ante entornos dinámicos: XIX Congreso anual y XV Congreso Hispano Francés de AEDEM, 2007, Vol. 1:15-28.
 - Dunn P, Smyth K. Series evaluation of Tweedie exponential dispersion model densities. *Statistics and Computing*. 15, 2005, 267-280.
 - Ernst A.T., Jiang H., Krishnamoorthy M., Owens B., Sier D. (2004) An annotated bibliography of personnel scheduling and rostering. *Annals of operations research*, 21-144.
 - Eubank R. A simple smoothing spline. *American Statistician*, 1994, 2:103-106.
 - Feigin p. Analysis of customer patience in a bank call center. Working paper, 2006. Disponible en: <http://iew3.technion.ac.il/serveng/References/CCA-Patience.pdf> Consultado: 11/07/2013.
 - Fuentelsaz L, Gómez J, Polo Y. Aplicaciones del análisis de supervivencia a la investigación en economía de la empresa. Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa, 2004, 19:81-114.

-
- Gans N, Koole G y Mandelbaum A. Telephone call centers: tutorial, review, and research prospects. *Manufacturing & Service Operations Management* 2003; 5: 79-141.
 - Garnett O, Mandelbaum A, Reiman M. Designing a call center with impatient customers. *Manufacturing & Service Operations Management* 2002, 4(3): 208-227.
 - Goldstein H. *Multilevel statistical models*. London: Edward Arnold. 2009.
 - Harris CM, Hoffman KL, Saunders PB. Modeling the IRS telephone taxpayer information system. *Operations Research* 1987;35(4):504–23.
 - Henderson SG. Should we model dependence and nonstationary, and if so, how?. *Proceedings of the 2005 winter simulation conference*. 2005. IEEE Press, Piscataway, NJ: 120-129
 - Henderson WB, Berry WL. Heuristic methods for telephone operator shift scheduling. *Management Science* 1976; 22(12):1372–80.
 - Hernández A. *Análisis de series temporales económicas II. Modelos ARIMA* Esic editorial Madrid 2009.
 - HESCUAEP Health Emergency National/ Regional Programmes: For an improved Coordination in Pre-Hospital Setting. Deliverable 2.1: Architecture, Benchmarking and prioritisation. Contract n°: 510232. (2005). Disponible en: http://www.hesculaep.org/cat.php?sous_rubrique_id=28. Consultado 15/04/2013.
 - Hillier F y Lieberman G. *Introducción a la investigación de operaciones*. Mexico: Octava edición. MacGraw-Hill Interamericana, S.A., 2006.
 - Ingolfsson A, Haque A, Umnikov A. Accounting for time-varying queuing effects in workforce scheduling. *European Journal of Operational Research* 2002; 139(3): 585–97.
 - Ingolfsson A, Khmetshina E, Budge S, Li Y. A survey and experimental comparison of service level approximation methods for non-stationary M(t)/M/s(t) queuing systems with exhaustive discipline, *INFORMS Journal on Computing* 19(2) (2007) 201-214.
 - Instituto Nacional de Estadística (2004 a 2008)a. *Cifras oficiales de población: Revisión del Padrón Municipal*. Madrid: Instituto Nacional de Estadística. Disponible en: <http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=%2Ft20%2Fe260&file=inebase&L=0> Consultado: 11/11/2011.
 - Instituto Nacional de Estadística (2004 a 2008)b. *Encuesta de ocupación hotelera*. Madrid: Instituto Nacional de Estadística. Disponible en: <http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=%2Ft11%2Fe162eoh&file=inebase&L=0> Consultado: 11/11/2011.
 - Instituto Nacional de Estadística (2004 a 2008)c. *Enfermedades de Declaración Obligatoria*. Madrid: Instituto Nacional de Estadística. Disponible en: <http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=/t15/p063&file=inebase&L=0> Consultado: 11/11/2011.
 - Irvani F, Balcioglu B. Approximations for the M/GI/N + GI type call center. *Queueing Systems*, 2008, 58(2):137-153.
 - Jenkins G y Watts D. *Spectral Analysis and Its Applications*. Londres: Holden-Day, 1969.
 - Jouini O, Koole G, Roubos A. Performance Indicators for Call Centers with Impatience. 2013. *IIE Transactions* 45(3): 341-354.
 - Kamenetsky R, Shuman L, y Wolfe H. Estimating need and demand for prehospital care. *Oper Res* 1982; 30: 1148–67.
 - Keith E.G., Operator scheduling, *AIIE Transactions* 11 (1979), no. 1, 37–41.
 - Kikut A. Aspectos conceptuales sobre series de tiempo. Nota Técnica DIE/02-2002-NT. Banco Central de Costa Rica. 2002.
 - Kleinrock L. *Queueing systems, Vol. 1: Theory*. New York: Wiley Edit. 1975.
 - Kort BW. Models and methods for evaluating customer acceptance of telephone connections. In *GLOBECOM '83*, 1983, p9 706-714. IEEE.
 - L'Ecuyer P. Modelling and optimization problems in contact centers. *Proceedings of the Third International Conference on Quantitative Evaluation of Systems (QEST 2006)*, University of California, Riversdale, IEEE Computing Society, 2006, 145-154.
 - Lachenbruch P. *Discriminant Analysis*. New York: Hafner 1975
 - Ley 2/1994, de 24 de marzo, de creación de una Empresa Pública para la Gestión de los Servicios de Emergencia Sanitaria. BOJA 41, de 29/03/1994.

-
- Lima L, André C, Singer J.. Modelos aditivos generalizados: metodología e práctica. Revista Brasileira de Estatística, 2001, 62: 37-69.
 - Llorente S, Puente FJ, Alonso M, y Arcos PI. Aplicaciones de la simulación en la gestión de un servicio de urgencias hospitalario. Emergencias 2001;13:90-96.
 - Mabert, V. Short interval forecasting of emergency phone call (911) work loads. J Oper Manag 1985; 5: 259-71.
 - Mandelbaum A, Zeltyn S. Data Stories about (Im)Patient Customers in Tele-Queues. To be published in QUESTA, special issue on Queues with Abandonments, 2013. Disponible en: http://iew3.technion.ac.il/serveng/References/impatience_data_stories_final.pdf. Consultado 14/07/2013.
 - Mandelbaum A, Zeltyn S. Staffing many-server queues with impatient customers: Constraint satisfaction in call centers. Operations Research 2009, 57(5):1189-1205.
 - Mandelbaum A, Zeltyn S. The impact of customers' patience on delay and abandonment: some empirically-driven experiments with the M/M/n+G queue. OR Spectrum, 2004, 26(3): 377-411.
 - Mandelbaum A. Call Centers. Research Bibliography with Abstracts. Version 7, May, 2006. [revista electrónica] (consultado 10-12-2012) Disponible en http://ie.technion.ac.il/serveng/References/US7_CC_avi.pdf.
 - Manual del operador del sistema de comunicaciones. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias. Documentación interna.
 - Manual del Procedimiento de Asistencia Sanitaria de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias. Documentación interna.
 - Manual del procedimiento de Gestión de la demanda de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias. Documentación interna.
 - Manual del procedimiento de gestión de la demanda del Servicio Provincial de Málaga de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias. Documentación interna.
 - Manual del procedimiento de Indicadores de calidad y sistema de evaluación de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias. Documentación interna.
 - Manual del procedimiento de Trazabilidad de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias. Documentación interna.
 - Martín Q. Investigación Operativa. Editorial Hespérides. Madrid 2003.
 - Martín Rodríguez S. Splines como función de la proporción del periodo estacional. Universidad la Laguna. DT 2008-02. <http://www.fceye.ull.es/new/investigacion/docum/ull-ulpgc/DT2008-02.pdf>. Consultado: 04/03/2010.
 - Martínez-González MA, Sánchez-Villegas A, López C. Introducción a los modelos multivariantes. Disponible en: www.unav.es/departamento/preventiva/files/file/cap12.doc. Consultado: 04/05/2013.
 - Matteson D, McLean M, Woodard D y Henderson SG. Forecasting Emergency Medical Service Call Arrival Rates. Ann. Appl. Stat. 2011, 5(2B): 1379-1406.
 - McConnell CE y Wilson RW. The demand for prehospital emergency services in an aging society. Soc Sci Med 1998; 46: 1027-31.
 - Millán-Ruiz D, Pacheco J, Hidalgo JI y Vélez JL. Forecasting in a Multiskill Call Centre. ICAISC'10 Proceedings of the 10th international conference on Artificial intelligence and soft computing: Part II. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 2010.
 - Moreno-Civantos y otros “Vigilancia compartida: enfermedad meningocócica vs gripe” Gaceta Sanitaria 2000; 14(6): 422-428.
 - Muhlemann AP. A simulation study of the operations of a telephone bureau. Omega 1981; 9(6):633-7.
 - National EMS Advisory Council. EMS makes a difference: Improved clinical outcomes and downstream healthcare savings. Disponible en: <http://www.ems.gov/pdf/nemsac-dec2009.pdf>. Consultado 25/04/2013.
 - Nelder J, Pregibon O. An extended quasi-likelihood function. Biometrik 74, 1987, 221-231.
 - Nelder J, Wedderburn R. Generalized linear models. Journal of the Royal Statistical Society, Series A (Royal Statistical Society) 135, 1972, (3): 370-384.

-
- Ojeda R., Programación lineal para la asignación de personal a horarios de trabajo: el caso de una empresa de atención telefónica en México. XVII Congreso internacional de contaduría Administración e Informática. 2012. México. Disponible en: <http://132.248.18.162/sistemas/sisinfdivinv/admtrabajos/pdfAceptadas/XVII/XVII-Y4T1.pdf>. Consultado 16/12/2012.
 - Palacios FJ. Redes Neuronales con GNU/Linux. 2003. Disponible en: http://www.ibiblio.org/pub/linux/docs/LuCaS/Presentaciones/200304curso-glisa/redes_neuronales/curso-glisa-redes_neuronales-html/index.html. Consultado 18/05/2013.
 - Palm, C. (1953). Methods of Judging the Annoyance Caused by Congestion. Tele, 2, Disponible en: [http://iew3.technion.ac.il/serveng/Lectures/OptionalReading\\$8.html](http://iew3.technion.ac.il/serveng/Lectures/OptionalReading$8.html).
 - Pazos JJ, Suárez A y Díaz R. Teoría de colas y simulación de eventos discretos. Madrid: Editorial Prentice-Hall Pearson Educación, S.A., 2003.
 - Peña D. Análisis de series temporales. Madrid: Editorial Alianza S.A., 2010.
 - Peña D. El análisis de series temporales: situación y perspectivas. Journal of the American statistical association, 2005, 100, 135-146.
 - Pérez C. Métodos estadísticos avanzados con SPSS. Madrid: Thomson Editores S.A., 2005.
 - Pérez López C. Econometría de las series temporales. Madrid: Pearson Educación S.A., 2006.
 - Pérez ML. Aplicaciones de la Redes Neuronales Artificiales a la Estadística. Edit. La Muralla S.A., 2003. Madrid.
 - Perry A, Moore K, Levesque L, Pickett W, Korenberg MJ. Revue Canadienne de Santé Publique, 2010, V.101 6:464-469.
 - Perry K. (2012). The Call Center Scheduling Problem using Spreadsheet Optimization and VBA. Máster en ciencias Matemáticas Universidad de Virginia (USA). Disponible en: <https://dizzyg.uls.vcu.edu/bitstream/handle/10156/3746/PerryThesis.pdf?sequence=1>. Consultado: 08/01/2013.
 - Pulido A. Predicción económica y empresarial. Edit. Pirámide. Madrid 1999.
 - Reyes P. Curso de confiabilidad. 2006. Disponible en: www.iciem.com/files/CURSO_CONFIABILIDAD.doc. Consultado: 08/06/2013.
 - Rodríguez JM, Serrano D, Monleón A y Caro J. Los modelos de simulación de eventos discretos en la evaluación económica de tecnologías y productos sanitarios. Gaceta Sanitaria 2008; 22(2): 151-161.
 - Segal M. The operator-scheduling problem: a network-flow approach. Operations Research 1974; 22(4): 808–23.
 - Setzler H, Saydam C y Park S. EMS Call Volume Predictions: A Comparative Study. Comput Oper Res 2009; 36:1843-51.
 - Shen H y Huang JZ. Interday forecasting and intraday updating of call centers arrivals. Manufacturing and service operations managements, 2008, 10:391-410.
 - Shen H. Statistical analysis of call-center operational data: forecasting call arrivals, and analyzing customer patience and agent service. Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science. 2010.
 - Shono H. Application of the Tweedie distribution to zero-catch data in CPUE analysis. Fisheries Research. 93, 2008, 154-162.
 - Smyth G, Jørgensen J. Fitting Tweedie's compound Poisson model to insurance claims data: dispersion modeling. Astin Bulletin. 32(1), 2002, 143-157.
 - Sun Y, Heng B, Seow Y, Seow E. Forecasting daily attendances at an emergency department to aid resource planning. BMC Emergency Medicine, 2009, 9: 1.
 - Sze DY. A queueing model for telephone operator scheduling. Operations Research 1984; 32(2): 229–49.
 - Taha H. Investigación de operaciones. México: Quinta edición. Alfaomega grupo editor, S.A., 1999.
 - Tascheri R. Estandarización de la captura por unidad de esfuerzo de la merluza de cola (*macrurus magellanicus*) en la pesquería demersal chilena: un enfoque que considera la intencionalidad del esfuerzo. 2009. Tesis de la Universidad de Concepción (Chile).

-
- Taylor J. A comparison of univariate time series methods for forecasting intraday arrivals at a call center. *Manage Sci* 2008; 54: 253-65.
 - Terrádez M. Análisis de Componentes Principales. Universitat Oberta de Catalunya. Disponible en: www.uoc.edu/in3/emath/docs/Componentes_principales.pdf. Consultado: 28/05/2013.
 - Thompson GM. Improved implicit optimal modeling of the labor shift scheduling problem. *Management Science* 1995; 41(4): 595–607.
 - Tubaro M, Danchin N, Goldstein P, y otros. Tratamiento prehospitalario de los pacientes con IAMCEST. Una declaración científica del Working Group Acute Cardiac Care de la European Society of Cardiology. *Rev Esp Cardiol*. 2012; 658(1): 60-70.
 - Tych W, Pedregal DJ, Young PC y Davies J. An unobserved component model for multi-rate forecasting of telephone call demand: the design of a forecasting support system. *Int J Forecast* 2002;18:673–95.
 - Unión Internacional de Telecomunicaciones (UTI). 2009. Disponible en: www.itu.int/ITU-D/study_groups/SGP_2002-2006/133000S4.Doc. Consultado 03/05/2012.
 - Universidad de Valencia. Análisis Cluster Jerárquico. Proyecto CEACES. Disponible en: <http://www.uv.es/ceaces/multivari/cluster/CLUSTER.htm>. Consultado: 18/05/2013.
 - Walrand J. An introduction to queuing networks. New Jersey: Prentice Hall, 1988.
 - Ward AR, Glynn PW. A diffusion approximation for a Markovian queue with reneging. *Queueing Systems*, 2003, 43(1/2):103-128.
 - Ward AR. Asymptotic Analysis of Queuing Systems with Reneging: A survey of Results for FIFO, Single Class Models. *Surveys in Operations Research and Management Science*, 2012, 17:1-14.
 - Wargon M, Guidet B, Hoang TD. A systematic review of models for forecasting the number of emergency department visits. *Emerg Med J*, 2009, 26:395-399.
 - Weinberg J, Brown LD y Stroud R. Bayesian forecasting of an inhomogeneous poisson process with applications to call center data. *J Am Stat Assoc* 2007;102:1185-99.
 - Whitt W. Engineering solution of a basic call-center model. *Management Science*, 2005, 51(2):221-235.
 - WHO Reliefweb glossary of humanitarian terms. Draft Version. 2008
 - Widimsky P, Wijns W, Fajadet J, De Belder M, Knot J, Aaberge L, et al. Reperfusion therapy for ST elevation acute myocardial infarction in Europe: Description of the current situation in 30 countries. *Eur Heart J*. 2010; 31: 943-57.
 - Wu Ch, Hwang K, Using a Discrete-event Simulation to Balance Ambulance Availability and Demand in Static Deployment Systems *Academic Emergency Medicine* 2009;16:1359-1366.
 - Zeltyn S, Mandelbaum A. Call centers with impatient customers: Many-server asymptotics of the M/M/n+G queue. *Queueing Systems*, 2005, 51(3/4): 361-402.
 - Zhou Y, Gans N. A call routing problem with service-level constraints. *Operations Research* 2003; 51(2): 255–71.
 - Zhu Z, McKnew MA y Lee J. Effects of time-varied arrival rates: an investigation in emergency ambulance service systems. In: *Proceedings of the 1992 winter simulation conference*. IEEE Press, Piscataway, NJ 1180.

ANEXOS

ANEXO I.- EVALUACIÓN DE MODELOS DE SERIES TEMPORALES PARA LA PREVISIÓN DE LA DEMANDA DE EMERGENCIAS SANITARIAS.

EVALUATION OF TIME-SERIES MODELS FOR HEALTH EMERGENCY DEMAND FORECAST

Autores:

Díaz-Hierro, José. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias

Martín Martín, José J. Universidad de Granada

Vilches Arenas, Ángel. Universidad de Sevilla

López del Amo González, M. Puerto. Universidad de Granada

Patón Arévalo, José María. Empresa Pública de Emergencias Sanitarias

Varo González, Clara. Freelance

Número total de Palabras: 1.893

Autor de contacto:

José Díaz Hierro

Avda. Benyamina, Urb.Playamar Torre 12 2ºA

29620 Torremolinos. Málaga

e-mail: jdiaz@epes.es

RESUMEN

Objetivo

Evaluar las ventajas de la utilización conjunta de 6 modelos de series temporales, para mejorar la gestión de la demanda a corto plazo de llamadas de emergencias sanitarias.

Métodos

Se ha analizado la demanda de emergencias sanitarias en el Servicio Provincial de Málaga 2004 a 2008 mediante 6 modelos desarrollados con software estándar, tres modelos de descomposición y tres econométricos que consideran, meses estivales y valores atípicos, casos de gripe y número de pernотaciones como variables exógenas.

La comparación de modelos se ha realizado, con test econométricos habituales: la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE), el error absoluto porcentual medio (MAPE) y el máximo del error absoluto porcentual medio (MaxAPE) entre otros.

Resultados

Los modelos presentan un MAPE inferior al 5%. En la fase de estimación, el modelo ARIMA con intervención presenta la menor RMSE. El estructural armónico obtiene el menor recorrido entre el MAPE y MaxAPE. En la fase de validación, el ARIMA con intervención muestra el peor ajuste, y el estructural armónico y ARIMAX los mejores.

Conclusiones

El empleo simultáneo de los modelos genera un intervalo de pronósticos de demanda de emergencias que mejora la planificación a corto plazo. Los modelos de descomposición y ARIMA con intervención alertan ante cambios inesperados, mientras que los modelos que incorporan variables exógenas, ARIMAX y estructural armónico, introducen escenarios alternativos de planificación, mejoran el conocimiento de la demanda y apoyan la toma de decisiones. Su implementación con software estándar disminuye los costes de aplicación en centros de emergencias.

Palabras Claves: emergency care, prehospital; forecasting, trends; organization and administration.

1.-INTRODUCCIÓN

Los centros de llamadas de emergencias sanitarias se han convertido en una tercera puerta de entrada a los sistemas sanitarios que ejercen influencia sobre atención primaria y especializada, las personas demandantes que se encuentran en una situación de urgencia o emergencia realizan una llamada y su situación puede ser resuelta bien con consejos sanitarios, bien con movilización de algún recurso. La gestión de un centro de llamadas de emergencias sanitarias se basa en ofrecer un nivel de servicio con respuesta rápida y equilibrio de costes. La carga de trabajo se determina atendiendo a los tiempos de asistencia y volumen de demanda. Este trabajo se centra en el pronóstico de éste último aspecto, además la mejora en la eficiencia en la gestión de centros de emergencias adquiere especial significado en periodos de crisis económicas profundas como el actual. Los instrumentos de pronóstico de demanda de las llamadas recibidas es un elemento clave para una estrategia sostenida de mejora y creación de valor.

Aunque tradicionalmente se ha utilizado el método de las medias móviles, en el ámbito académico se ha prestado atención a otros métodos más complejos, particularmente el análisis de series temporales¹⁻⁴ especialmente apropiados para previsiones a corto plazo al permitir detectar cambios de comportamiento en la serie, posibilitando una intervención rápida⁵. Dos aproximaciones son relevantes, los métodos clásicos de análisis basados en la descomposición de la serie, y los modelos econométricos, que permiten incorporar variables exógenas posibilitando el estudio de la causalidad^{2,3,4, 6,7,8, 9, 10, 11,12}. El análisis comparativo de distintos modelos aunque más limitada^{13,14,15} sugiere que una mayor complejidad no va asociada necesariamente a mejoras significativas, y señala la utilidad de incorporar variables exógenas para mejorar las previsiones.

El objetivo del presente estudio es evaluar comparativamente los modelos que mejor pronostiquen las llamadas recibidas en un centro de emergencias de Málaga y valorar los potenciales efectos sinérgicos de su utilización conjunta. Es el primer estudio que combina 6 métodos de series temporales, incluyendo variables exógenas, susceptibles de ser resueltos con software estándar, analizando las ventajas comparativas de cada uno, así como el valor añadido de su utilización conjunta.

2.- MÉTODO

Se ha realizado un estudio observacional descriptivo ecológico de series temporales de las llamadas recibidas mensualmente desde enero de 2004 a diciembre de 2008 en el centro de emergencias de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias (EPES) en Málaga, utilizando como periodo de estimación 2004-2007 y como periodo de validación 2008 para valorar el poder predictivo de los modelos. El ámbito de estudio es la atención urgente y emergente extrahospitalaria de la provincia de Málaga con una población de 1.600.000 habitantes. Las fuentes de información empleadas han sido el Sistema de Información de EPES, las estimaciones de la población de Málaga¹⁶, el registro de pernoctaciones¹⁷ y el registro de Enfermedades de Declaración Obligatorias¹⁸ del Instituto Nacional de Estadística.

La selección de los métodos se ha efectuado combinando dos criterios, la adecuación de la estructura de los datos a los modelos y la existencia de software estándar para su aplicación. Los 6 modelos seleccionados han sido: armónico multiplicativo, método X-11 de desestacionalización, alisado de Winters, autorregresivo integrado de medias móviles (ARIMA) mediante análisis de intervención con meses estivales y valores atípicos, ARIMA con función de transferencia de los casos declarados de gripe (ARIMAX), y un

modelo estructural armónico, con población, casos de gripe y número de pernoctaciones como variables exógenas (Gráfico 1). Las técnicas y estadísticos utilizados^{19, 20, 21, 22, 23} para cada uno de los modelos se describen en la tabla 1.

La comparación de modelos se ha realizado mediante la R^2 estacionaria, la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE), el error absoluto porcentual medio (MAPE) que debe ser inferior al 5% para alinear los pronósticos con los objetivos presupuestarios, el MaxAPE (máximo del error absoluto porcentual medio)²⁴, y el criterio BIC (Bayesian Information Criteria) normalizado²⁵.

En los contrastes de hipótesis se ha considerado un nivel de significación de 0,05, e intervalos de confianza (IC) al 95%. El análisis se ha efectuado con los paquetes estadísticos SPSS v.18 y E-views 5.1.

3.- RESULTADOS

Las llamadas recibidas entre 2004 y 2007 presentan un incremento continuo, desde un 4% hasta un 13% en 2007 con 572.674 llamadas. Se observa tanto una tendencia creciente como estacionalidad, mostrando picos en diciembre-enero, y julio-agosto de cada año.

Se ha identificado una estructura de dependencia para valores próximos que va decreciendo para valores lejanos y una estacionalidad semestral (1/0.16) que puede justificarse por un doble componente estacional: efecto gripe y efecto vacaciones. El mayor rango de explicación de la variabilidad se produce en el intervalo de frecuencias 0,1 a 0,2, estando 0,1 muy cerca de una componente estacional de periodo mensual.

El anexo I recoge las estimaciones de los 6 modelos y en el gráfico 2 se pueden observar los modelos ajustados. En el modelo armónico multiplicativo la línea de ajuste se mantiene cercana a los valores reales para el año 2008 con un número total de llamadas previstas un 2% inferior a las reales.

En el modelo X-11 de desestacionalización la tendencia es parecida estando la línea de valores observados cercana al límite inferior del IC en 2008 (gráfico 2), mostrando unos índices de variación estacional mensual mayores que 1 en los meses de enero, marzo, julio, agosto y diciembre y un número total de llamadas previstas un 5% superior a las reales.

En el modelo de alisado de Winters la línea de valores observados en el primer semestre se mantiene ligeramente por debajo del límite inferior del IC para el año 2008 con un número total de llamadas previstas un 7% superior a las reales.

En el modelo ARIMA con análisis de intervención el mes de mayo del año 2005 supone un incremento en el nivel de la serie que afecta a los valores posteriores cercanos y luego decae. El mes de enero del año 2006 muestra un valor inferior a la media del mismo periodo de años posteriores. A partir de marzo del año 2006 se produce un aumento sostenido en el nivel de la serie. En el periodo de estimación los valores se ajustan adecuadamente, presentando unos IC precisos. En el año 2008 la línea de los valores observados se mantiene dentro de los límites del IC, sin embargo los valores previstos superan un 7,21% a los valores reales.

En el modelo ARIMAX elegido las llamadas recibidas se incrementan por los casos notificados de gripe en el mes anterior y el actual, así como por los casos notificados en el mismo mes del año anterior. Mayo del año 2005 supone un incremento en el nivel de la serie que afecta a los valores posteriores cercanos y luego decae. Como muestra el gráfico 2 la línea de los valores observados se mantiene dentro de los límites de los IC en 2008, superando los valores reales a los previstos. El número total de llamadas previstas es un 2,62% menor que las reales.

El modelo estructural armónico de regresión múltiple obtiene una correlación entre las variables de 0,78. La bondad del ajuste muestra un R² corregido de 0,60. Como se observa en el gráfico 2 el valor de enero de 2005 (acmé de epidemia de gripe) se ha captado adecuadamente. En el año 2008 la línea de los valores observados se mantiene dentro de los límites de los IC, a excepción de febrero, marzo, agosto y diciembre. El número total de llamadas previstas es un 0,5% menor que las reales.

3.1 Comparación sintética de los Modelos

La tabla 2 compara la bondad del ajuste de los 6 métodos de pronóstico, mostrando en todos los casos un MAPE inferior al 5%. En la fase de estimación, el modelo de menor RMSE es el ARIMA con intervención, y el que presenta menor recorrido entre el MAPE y MaxAPE es el estructural armónico.

En la fase de validación, el ARIMA con intervención es el de peor ajuste, frente a ARIMAX que presenta los mejores resultados. Los modelos basados en la historia pasada (ARIMA, Winters, X-11) obtienen valores previstos mayores que los observados, hecho esperado por el crecimiento sistemático anual.

El modelo armónico multiplicativo parte de la misma tendencia que los modelos de series de tiempo, sin embargo la influencia de la componente estacional va decreciendo con el transcurso de los años, siendo la estimación menor a lo observado (1,95%).

Los modelos con variables exógenas ARIMAX y estructural armónico, obtienen unos resultados en términos de RMSE intermedios, aunque mejoran en el periodo de validación y sus errores en estimación anual se sitúan en el 2,62% y el 0,51% respectivamente, obteniendo los mejores resultados en RMSE.

El modelo ARIMAX presenta los mejores resultados, la influencia histórica de la serie junto con el descenso de los casos notificados por gripe han pronosticado un descenso de llamadas que ha resultado ser mayor que el observado para las recibidas.

4.- DISCUSIÓN

Este estudio evalúa la utilización conjunta de 6 métodos de series temporales, desarrollados con software estándar, para mejorar el pronóstico de la demanda de emergencias sanitarias. Algunos de nuestros resultados coinciden con la evidencia empírica disponible, por un lado una mayor complejidad no va asociada necesariamente a mejoras del pronóstico, y por otro, confirma la importancia de incorporar variables exógenas para mejorar los resultados 5,15.

Existe variabilidad en los pronósticos de los modelos; el modelo X-11, alisado de Winters y ARIMA con intervención, predicen mayor número de llamadas que las observadas, mientras que el armónico multiplicativo, ARIMAX y estructural armónico predicen menos. Los primeros son útiles como modelos de alerta ante comportamientos no habituales y los segundos, proporcionan un mayor conocimiento explicativo de las variaciones de la demanda. Por ejemplo, el modelo ARIMAX establece una asociación significativa entre las llamadas y los casos notificados de gripe, no encontrando sin embargo relación con la población y las pernoctaciones, posiblemente debido al componente autorregresivo que captura la evolución en el mismo sentido de estas dos variables. Los resultados obtenidos en el modelo estructural armónico ponen de manifiesto la mayor propensión a llamar a centros de emergencias de las personas afectadas por gripe y la menor de la población que pernocta.

El enfoque empleado permite la inclusión de otras variables exógenas (nivel de polución, tasas de accidentes de tráfico, tasa de incidencia de enfermedades cardiovasculares, temperatura ambiental, etc.) que podrían aumentar el poder explicativo del modelo estructural armónico y ARIMAX26.

La visión conjunta de los modelos ofrece un rango de estimación anual de llamadas al servicio de emergencias para 2008, desde 557.672 hasta 613.960, siendo las reales 572.674. Este hecho enriquece la información al contemplar escenarios con posibles descensos, hecho constatado en 2008, lo que permite planificar cursos de acción alternativos de los recursos y establecer pronósticos que incorporen el conocimiento de modelos cuantitativos alternativos.

Este estudio presenta la limitación de extrapolación de resultados a otras zonas geográficas que pudieran verse más afectadas por las variables exógenas mencionadas anteriormente. Sin embargo, la aplicación de los modelos presentados es adecuada y recomendable para cualquier centro de llamadas de emergencias sanitarias.

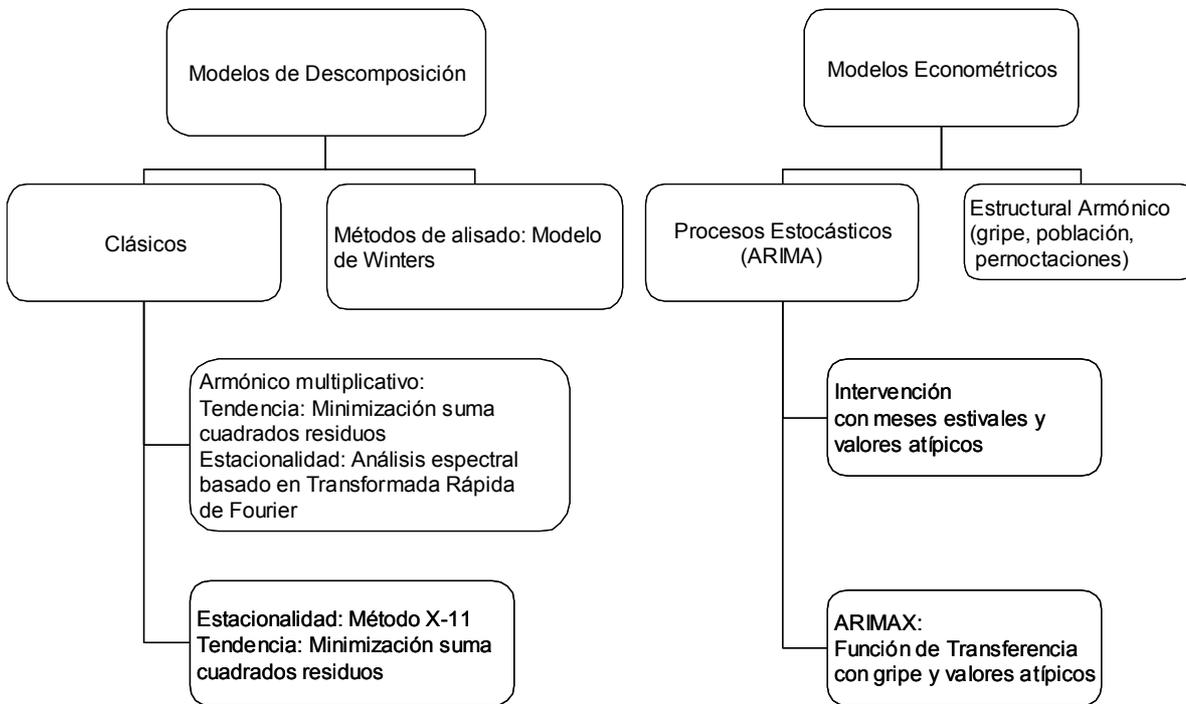
En conclusión, la utilización conjunta de los distintos métodos de análisis genera sinergias en el conocimiento de los escenarios de demanda de emergencias sanitarias, contribuyendo a una mayor eficiencia en la planificación a corto plazo de los recursos humanos disponibles, reduciendo costes y mejorando la calidad simultáneamente. Su desarrollo mediante software estándar, disminuye los costes de aprendizaje y aplicación de forma estable y periódica en los centros de emergencias.

BIBLIOGRAFÍA

1. Mandelbaum A. Call Centers. Research Bibliography with Abstracts. Version 7, May, 2006. [revista electrónica] (consultado 10-12-2011) Disponible en http://ie.technion.ac.il/serveng/References/US7_CC_avi.pdf.
2. Baker JR y Fitzpatrick KE. Determination of an optimal forecast model for ambulance demand using goal programming. *J Oper Res Soc* 1986;37:1047–59.
3. Mabert, V. Short interval forecasting of emergency phone call (911) work loads. *J Oper Manag* 1985;5:259-71.
4. Channouf N, L'Ecuyer P, Ingolfsson A y Avramidis. A. The application of forecasting techniques to modeling emergency medical system calls in Calgary, Alberta. *Health Care Manage Sci* 2007;10:25-45.
5. Peña D. Análisis de series temporales. Madrid: Alianza S.A., 2010.
6. Kamenetsky R, Shuman L, y Wolfe H. Estimating need and demand for prehospital care. *Oper Res* 1982;30:1148–67.
7. McConnell CE y Wilson RW. The demand for prehospital emergency services in an aging society. *Soc Sci Med* 1998;46:1027-31.
8. Matteson D, McLean M, Woodard D y Henderson SG. Forecasting Emergency Medical Service Call Arrival Rates. *Ann. Appl. Stat. Volume 5, Number 2B* (2011), 1379-1406
9. Zhu Z, McKnew MA y Lee J. Effects of time-varied arrival rates: an investigation in emergency ambulance service systems. In: *Proceedings of the 1992 winter simulation conference*. IEEE Press, Piscataway, NJ 1180.
10. Tych W, Pedregal DJ, Young PC y Davies J. An unobserved component model for multi-rate forecasting of telephone call demand: the design of a forecasting support system. *Int J Forecast* 2002;18:673–95.
11. Weinberg J, Brown LD y Stroud R. Bayesian forecasting of an inhomogeneous poisson process with applications to call center data. *J Am Stat Assoc* 2007;102:1185-99.
12. Shen H y Huang JZ. Interday forecasting and intraday updating of call centers arrivals. *Manufacturing and service operations managements*, 2008;10:391-410.
13. Millán-Ruiz D, Pacheco J, Hidalgo JI y Vélez JL. Forecasting in a Multiskill Call Centre. *ICAISC'10 Proceedings of the 10th international conference on Artificial intelligence and soft computing: Part II*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 2010.
14. Setzler H, Saydam C y Park S. EMS Call Volume Predictions: A Comparative Study. *Comput Oper Res* 2009;36:1843-51.
15. Taylor J. A comparison of univariate time series methods for forecasting intraday arrivals at a call center. *Manage Sci* 2008;54:253-65.
16. Instituto Nacional de Estadística (2004 a 2008). *Cifras oficiales de población: Revisión del Padrón Municipal*. Madrid: Instituto Nacional de Estadística. Disponible en: <http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=%2Ft20%2Fe260&file=inebase&L=0> el 11 de diciembre de 2011.
17. Instituto Nacional de Estadística (2004 a 2008). *Encuesta de ocupación hotelera*. Madrid: Instituto Nacional de Estadística. Disponible en: <http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=%2Ft11%2Fe162eoh&file=inebase&L=0> el 11 de diciembre de 2011.
18. Instituto Nacional de Estadística (2004 a 2008). *Enfermedades de Declaración Obligatoria*. Madrid: Instituto Nacional de Estadística. Disponible en: <http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=/t15/p063&file=inebase&L=0> el 11 de diciembre de 2011.

19. Casas Sánchez JM. Introducción a la estadística para economía. Madrid: Centro de Estudios Ramón Areces, S.A., 1999.
20. Cáceres Hernández JJ, Martín Rodríguez G, Martín Álvarez FJ. Introducción al análisis univariante de series temporales económicas. Madrid: Delta publicaciones universitarias, 2008.
21. Jenkins G y Watts D. Spectral Analysis and Its Applications. Londres: Holden-Day, 1969.
22. Pérez López C. Econometría de las series temporales. Madrid: Pearson Educación S.A., 2006.
23. Box G y Jenkins G. Time series analysis: Forecasting and control. San Francisco: Holden-Day, 1970.
24. Aguirre JA. Introducción al tratamiento de series temporales. Aplicación a las ciencias de la salud. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A., 1994.
25. Hernández Alonso J. Análisis de series temporales económicas II. Madrid: ESIC Editorial. 2009.
26. Carracedo Martínez E, Sánchez C, Taracido M, Saenz M, Jato V y Figueiras A. Effect of short-term exposure to air pollution and pollen on medical emergency calls: a case-crossover study in Spain. *Allergy* 2008;63:347–53.

Gráfico 1: Modelos de series temporales



Fuente: Elaboración propia

Tabla 1: Técnicas y tests estadísticos aplicados.

MODELOS	TENDENCIA	ESTACIONALIDAD	PRUEBAS GENERALES					PRUEBAS ESPECIFICAS	PARSIMONIA	BONDAD
			Test Residuos			Significación Parámetros				
			Normalidad	Heterocedasticidad	Independencia	Individual	Conjunta			
ANALISIS GENERALES	Ajuste funciones lineal y cuadrático	Correlogramas (ACF y ACFP), Periodograma suavizado de ventana de Tuckey-Hamming, Función de densidad espectral								
ARMONICO MULTIPLICATIVO	Ajuste mínimo cuadrático ordinario	Transformada rápida de Fourier con tres armónicos: 16 máximos y 1/4 y 1/8 de cada onda	Shapiro-Wilks	White	Ljung-Box	T	F	Criterio BIC	R ² estacionaria, RMSE, MAPE, MaxAPE	
METODO X-11		Indices generales de variación estacional por método X-11				T	F			
ALISADO DE WINTERS	Ajuste de nivel, tendencia y estacionalidad: ecuaciones de Winters									
ARIMA INTERVENCIÓN	Metodo Box-Jenkins con Análisis de intervención						T			F	Estacionariedad: Test de Dickey-Fuller aumentado
ARIMAX	Metodo Box-Jenkins con Análisis de intervención y Función de transferencia mediante preblanqueo					T	F			Estacionariedad: Test de Dickey-Fuller aumentado Causalidad: Test de Granger
ESRUCTURAL ARMONICO	Regresión múltiple stepwise	Transformada rápida de Fourier con tres armónicos	Jarque-Bera		Ljung-Box, Durbin-Watson, Breusch-Godfrey	T	F	Multicolinealidad: Factor de inflación de la varianza, Índice de condición y Test de Farrar-Glauber. Estabilidad Estructural: Test de Chow y Test CUSUM. Adecuación especificación funcional: Test RESET de Ramsey. Exogeneidad: Contraste de Hausman		

La aplicación de la hipótesis aditiva o multiplicativa de componentes se realiza calculando el coeficiente de variación de Person aplicando de las transformaciones habituales sobre las series

Fuente: Elaboración propia

Anexo I: Ecuaciones de los modelos de series temporales ajustados para el pronóstico de llamadas.

1. Armónico multiplicativo: tendencia (Y_t) y estacionalidad (Y_t')

$$Y_t = 37.312,19 + 232,32 * t + e_t$$

$$e_t = Y_t'$$

$$Y_t' = 0,99 - 0,015 * \cos\left(\frac{2\pi}{48} * 16 * t\right) + 0,029 * \sin\left(\frac{2\pi}{48} * 16 * t\right) + 0,023 * \cos\left(\frac{2\pi}{48} * 4 * t\right) + 0,081 * \sin\left(\frac{2\pi}{48} * 4 * t\right) - 0,019 * \cos\left(\frac{2\pi}{48} * 0,5 * t\right) + 0,066 * \sin\left(\frac{2\pi}{48} * 0,5 * t\right)$$

2. X-11 Desestacionalización: tendencia (Y_t) y estacionalidad (Índices)

$$Y_t = 36.833,45 + 245,07 * t$$

INDICES ESTACIONAL		VARIACION	
ENE	1.15	JUL	1.05
FEB	0.98	AGO	1.11
MAR	1.01	SEP	0.93
ABR	0.94	OCT	0.94
MAY	0.94	NOV	0.91
JUN	0.96	DIC	1.08

3. Alisado de Winters:

Parámetros del modelo de suavizado exponencial

Modelo		Estimación	ET	t	Sig.	
Llamadas- Modelo_1	Sin transformación	Alpha (Nivel)	.707	.142	4.996	.000
		Gamma (Tendencia)	9.44E-006	.024	.000	1.000
		Delta (Estación)	.001	.329	.003	.998

4. ARIMA con análisis de intervención: (Llamadas=LL)

$$(1+1,021B+0,611B^2)\tilde{N}^2\tilde{N}_{12}Ln(LL)_t = a_t + 0,203\tilde{N}^2\tilde{N}_{12}I_{2005.5} - 0,185\tilde{N}^2\tilde{N}_{12}I_{2006.1} + 0,122^2_{12}E_{2006.3}$$

5. ARIMA con función de transferencia (ARIMAX): (Llamadas=LL y Gripe=GR)

$$(1+1,015B+0,586B^2)\tilde{N}^2\tilde{N}_{12}Ln(LL)_t = a_t + (-0,66-0,66B-1,358B^2)\tilde{N}Ln(GR)_t + 0,201\tilde{N}^2\tilde{N}_{12}I_{2005.5}$$

6. Estructural Armónico:

$$Llamadas = -59.869,6 + 0,67 * Población + 0,822 * Gripe + 0,099 * Pernoctaciones + e_t$$

$$\text{Estacionalidad residual: } e_t = Y_t$$

$$Y_t = -507,95 - 138,22 * \cos\left(\frac{2\pi}{48} * 16 * t\right) + 749,65 * \sin\left(\frac{2\pi}{48} * 16 * t\right) + 1.347,02 * \cos\left(\frac{2\pi}{48} * 4 * t\right) + 1.822,56 * \sin\left(\frac{2\pi}{48} * 4 * t\right) + 198,41 * \cos\left(\frac{2\pi}{48} * 0,5 * t\right) + 2.420,90 * \sin\left(\frac{2\pi}{48} * 0,5 * t\right)$$

Gráfico 2: Ajuste y pronóstico de las llamadas de Emergencias de los modelos en Málaga para el período 2004-2008.

LI: límite inferior, LS: límite superior

Fuente: Elaboración Propia a partir de información interna de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias

Tabla 2: Comparación de la bondad del ajuste de los modelos de pronóstico de las llamadas de Emergencias en Málaga en el período 2004-2007 y en fase de validación 2008.

COMPARACIÓN MODELOS						
Estadísticos	Armónico Multiplicativo	X-11 Desestacionalización	Alisado de Winter	ARIMA Intervención	ARIMAX (2,2,0)(0,1,0) ₁₂	Estructural Armónico
R2 Estacionaria	0.73	0.73	0.73	0.84	0.83	0.73
RMSE	2,633.47	2,709.37	2,058.76	1,988.46	2,128.89	2,393.98
MAPE	4.85%	4.59%	3.51%	3.06%	3.21%	4.41%
MaxAPE	16.40%	20.18%	12.82%	12.22%	12.76%	9.95%
BIC normalizado			15.5	15.71	15.94	
Ljung-Box	Independencia	Independencia	Independencia	Independencia	Independencia	Independencia
VALORES EN PERIODO DE VALIDACIÓN (2008)						
Estadísticos	Armónico Multiplicativo	X-11 Desestacionalización	Alisado de Winter	ARIMA Intervención	ARIMAX (2,2,0)(0,1,0) ₁₂	Estructural Armónico
R2 Estacionaria	0.72	0.74	0.7	0.48	0.84	0.74
RMSE	3,039.17	2,673.34	3,403.00	3,643.39	2,024.78	2,503.27
MAPE	4.38%	5.22%	6.93%	6.94%	3.19%	3.79%
MaxAPE	14.23%	11.11%	11.86%	11.94%	11.38%	11.27%
BIC normalizado			16.17	16.94	15.48	
Error estimación anual	1.95%	-5.14%	-6.77%	-7.21%	2.62%	0.51%

Fuente: Elaboración Propia a partir de información interna de la Empresa Pública de Emergencias Sanitarias

ANEXO III. PROPORCIÓN DE LLAMADAS RECIBIDAS POR LÍNEA Y FRANJA HORARIA EN 2007.

FRANJA	LINEA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA	MAXIMO	MINIMO
0	61	38.02%	42.10%	43.71%	40.80%	41.58%	40.60%	45.56%	46.50%	43.38%	47.85%	45.20%	45.57%	43.47%	47.85%	38.02%
1	61	39.37%	43.78%	38.87%	43.04%	41.81%	43.72%	45.55%	49.13%	46.30%	42.81%	45.00%	44.16%	43.82%	49.13%	38.87%
2	61	41.97%	43.12%	42.87%	45.57%	40.21%	40.44%	48.58%	48.37%	48.40%	41.87%	46.28%	45.97%	44.67%	48.58%	40.21%
3	61	38.48%	43.16%	43.21%	46.34%	42.65%	40.21%	46.55%	49.24%	46.42%	46.77%	49.79%	46.58%	45.10%	49.79%	38.48%
4	61	42.01%	43.36%	45.19%	45.68%	44.70%	42.10%	54.46%	47.51%	47.67%	48.94%	48.19%	47.17%	46.56%	54.46%	42.01%
5	61	43.38%	41.48%	46.47%	44.31%	46.22%	49.50%	48.55%	46.29%	47.50%	45.11%	49.74%	47.41%	46.30%	49.74%	41.48%
6	61	38.39%	41.54%	39.84%	45.88%	46.15%	44.94%	52.83%	48.09%	47.93%	47.32%	50.96%	42.89%	45.55%	52.83%	38.39%
7	61	40.52%	45.47%	45.22%	45.22%	45.59%	46.02%	44.68%	46.87%	42.64%	43.19%	45.90%	42.09%	44.48%	46.87%	40.52%
8	61	41.35%	39.95%	40.83%	38.89%	40.05%	39.02%	43.16%	41.47%	41.33%	41.85%	43.97%	42.75%	41.27%	43.97%	38.89%
9	61	37.56%	38.61%	39.00%	36.22%	39.95%	38.51%	38.39%	41.98%	39.68%	42.59%	42.00%	38.07%	39.35%	42.59%	36.22%
10	61	38.75%	39.77%	40.24%	39.39%	38.82%	36.86%	43.25%	43.87%	40.40%	42.56%	44.69%	41.59%	40.93%	44.69%	36.86%
11	61	37.90%	40.86%	42.91%	40.96%	42.03%	38.52%	41.65%	45.48%	43.36%	43.14%	46.11%	42.08%	42.06%	46.11%	37.90%
12	61	38.79%	43.18%	42.46%	39.36%	41.05%	43.58%	45.82%	45.88%	43.60%	47.32%	45.34%	43.62%	43.33%	47.32%	38.79%
13	61	37.76%	41.21%	40.09%	41.23%	41.55%	39.67%	43.83%	43.89%	41.39%	46.40%	46.02%	43.43%	42.25%	46.40%	37.76%
14	61	37.26%	40.60%	40.45%	40.44%	39.04%	40.06%	40.33%	43.34%	41.23%	44.37%	45.08%	42.40%	41.21%	45.08%	37.26%
15	61	36.32%	39.33%	40.31%	40.64%	38.37%	37.63%	42.88%	44.50%	39.37%	47.24%	43.20%	45.99%	41.36%	47.24%	36.32%
16	61	35.68%	41.06%	39.08%	40.77%	43.14%	39.95%	42.38%	44.97%	41.47%	46.89%	46.03%	43.69%	42.03%	46.89%	35.68%
17	61	39.02%	39.51%	42.50%	41.20%	42.47%	40.78%	43.99%	45.34%	39.90%	45.20%	45.69%	43.18%	42.40%	45.69%	39.02%
18	61	39.48%	39.52%	41.19%	42.78%	41.27%	42.77%	43.84%	45.53%	41.23%	47.61%	45.54%	43.62%	42.86%	47.61%	39.48%
19	61	38.61%	39.65%	42.01%	41.64%	42.61%	40.58%	44.25%	44.82%	40.85%	44.70%	43.08%	42.05%	42.06%	44.82%	38.61%
20	61	37.01%	39.24%	41.00%	40.21%	41.64%	39.83%	42.01%	46.29%	44.51%	46.23%	45.58%	44.64%	42.32%	46.29%	37.01%
21	61	37.20%	38.35%	38.10%	38.15%	38.21%	39.76%	42.10%	44.00%	40.32%	43.40%	44.65%	41.80%	40.48%	44.65%	37.20%
22	61	37.79%	40.93%	39.24%	40.24%	39.73%	41.43%	42.71%	43.69%	39.43%	41.26%	42.52%	42.97%	41.04%	43.69%	37.79%
23	61	36.46%	40.38%	41.16%	39.08%	40.06%	42.00%	41.83%	43.73%	40.05%	42.94%	42.81%	43.93%	41.21%	43.93%	36.46%

	MEDIA	38.71%	41.09%	41.50%	41.59%	41.62%	41.19%	44.55%	45.45%	42.85%	44.90%	45.56%	43.65%	42.75%		
	MAXIMO	43.38%	45.47%	46.47%	46.34%	46.22%	49.50%	54.46%	49.24%	48.40%	48.94%	50.96%	47.41%	46.56%		
	MINIMO	35.68%	38.35%	38.10%	36.22%	38.21%	36.86%	38.39%	41.47%	39.37%	41.26%	42.00%	38.07%	39.35%		

FRANJA	LINEA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA	MAXIMO	MINIMO
0	112	7.09%	6.42%	6.59%	8.33%	8.76%	9.28%	8.61%	9.47%	9.95%	8.04%	9.04%	7.58%	8.31%	9.95%	6.42%
1	112	7.14%	6.93%	6.63%	7.33%	9.84%	9.80%	8.97%	10.76%	11.13%	9.55%	10.64%	8.77%	8.98%	11.13%	6.63%
2	112	9.77%	7.13%	8.80%	7.56%	10.38%	13.67%	10.70%	11.10%	10.53%	13.99%	10.51%	10.75%	10.47%	13.99%	7.13%
3	112	12.06%	5.90%	10.31%	9.72%	12.46%	12.20%	13.49%	10.38%	11.34%	13.64%	10.30%	11.76%	11.15%	13.64%	5.90%
4	112	9.52%	8.09%	9.01%	9.14%	9.14%	14.59%	11.48%	13.20%	13.40%	11.48%	11.34%	10.75%	10.99%	14.59%	8.09%
5	112	9.25%	8.04%	8.33%	9.90%	9.89%	11.48%	11.62%	12.18%	13.08%	8.62%	10.67%	10.11%	10.32%	13.08%	8.04%
6	112	9.21%	7.25%	9.35%	10.21%	9.70%	12.27%	11.86%	11.10%	11.21%	12.15%	11.34%	9.77%	10.44%	12.27%	7.25%
7	112	9.95%	6.07%	8.40%	7.89%	7.82%	8.19%	11.57%	11.48%	9.67%	10.27%	8.54%	11.27%	9.35%	11.57%	6.07%
8	112	6.07%	5.04%	6.59%	5.15%	5.90%	5.42%	8.20%	7.61%	7.03%	6.92%	5.77%	6.84%	6.42%	8.20%	5.04%
9	112	5.25%	4.20%	4.43%	5.59%	5.73%	5.34%	5.71%	5.84%	5.65%	5.39%	5.70%	5.11%	5.33%	5.84%	4.20%
10	112	4.71%	3.28%	4.44%	4.25%	4.80%	5.87%	6.89%	6.26%	5.80%	6.23%	6.25%	4.57%	5.29%	6.89%	3.28%
11	112	4.89%	3.89%	5.06%	4.14%	5.38%	5.42%	6.21%	6.22%	5.75%	5.72%	5.82%	5.07%	5.30%	6.22%	3.89%
12	112	5.00%	3.49%	4.82%	4.66%	6.04%	5.49%	5.60%	6.00%	6.04%	6.55%	5.37%	5.46%	5.38%	6.55%	3.49%
13	112	4.78%	3.77%	5.54%	4.49%	5.69%	5.72%	6.11%	6.09%	6.33%	6.11%	5.33%	5.44%	5.46%	6.33%	3.77%
14	112	5.99%	4.19%	5.78%	5.36%	6.13%	7.06%	8.61%	7.55%	7.89%	6.72%	7.19%	6.85%	6.64%	8.61%	4.19%
15	112	6.35%	4.95%	5.72%	5.38%	6.14%	7.15%	6.76%	8.25%	8.54%	7.48%	5.54%	5.99%	6.54%	8.54%	4.95%
16	112	5.21%	4.50%	6.26%	5.18%	6.27%	6.65%	7.72%	7.06%	7.94%	7.11%	5.90%	5.28%	6.24%	7.94%	4.50%
17	112	5.60%	3.58%	5.93%	4.86%	6.21%	6.83%	6.84%	7.08%	8.39%	6.56%	5.74%	6.10%	6.12%	8.39%	3.58%
18	112	6.18%	4.91%	5.58%	5.58%	6.58%	7.46%	5.99%	7.74%	7.89%	6.75%	6.91%	6.30%	6.49%	7.89%	4.91%
19	112	5.96%	4.10%	4.52%	5.23%	7.18%	7.29%	7.39%	7.84%	8.11%	7.50%	6.51%	5.93%	6.47%	8.11%	4.10%
20	112	5.49%	4.39%	5.20%	4.77%	7.00%	7.01%	7.89%	8.11%	7.87%	7.61%	6.77%	6.45%	6.56%	8.11%	4.39%
21	112	5.91%	4.55%	5.25%	5.40%	6.71%	6.10%	6.49%	8.29%	8.69%	7.61%	6.14%	6.77%	6.49%	8.69%	4.55%
22	112	6.61%	4.36%	5.81%	5.46%	7.75%	7.03%	7.24%	7.70%	8.02%	6.50%	7.81%	8.05%	6.86%	8.05%	4.36%
23	112	7.11%	6.04%	7.17%	6.63%	8.43%	9.04%	9.88%	10.51%	9.02%	7.79%	7.73%	8.60%	8.27%	10.51%	6.04%

	MEDIA	6.88%	5.21%	6.48%	6.34%	7.50%	8.18%	8.41%	8.66%	8.72%	8.18%	7.62%	7.48%	7.49%		
	MAXIMO	12.06%	8.09%	10.31%	10.21%	12.46%	14.59%	13.49%	13.20%	13.40%	13.99%	11.34%	11.76%	11.15%		
	MINIMO	4.71%	3.28%	4.43%	4.14%	4.80%	5.34%	5.60%	5.84%	5.65%	5.39%	5.33%	4.57%	5.29%		

FRANJA	LINEA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA	MAXIMO	MINIMO
0	SEU	22.00%	16.64%	19.70%	16.73%	17.94%	18.56%	17.63%	16.60%	20.04%	17.31%	19.68%	19.30%	18.46%	22.00%	16.60%
1	SEU	18.35%	15.19%	19.53%	18.27%	13.74%	18.88%	14.12%	12.64%	15.76%	19.88%	14.15%	18.18%	16.42%	19.88%	12.64%
2	SEU	18.74%	17.20%	15.49%	17.83%	15.87%	17.78%	12.88%	14.01%	16.48%	18.20%	17.42%	16.42%	16.38%	18.74%	12.88%
3	SEU	17.61%	19.30%	14.49%	13.72%	14.70%	19.13%	12.39%	15.67%	13.09%	14.22%	15.37%	15.87%	15.39%	19.30%	12.39%
4	SEU	17.39%	16.64%	15.73%	14.20%	18.76%	16.72%	10.50%	13.30%	15.37%	14.80%	15.91%	17.53%	15.43%	18.76%	10.50%
5	SEU	15.25%	15.30%	12.98%	13.88%	13.85%	14.20%	13.69%	14.40%	13.08%	20.56%	17.73%	15.30%	14.97%	20.56%	12.98%
6	SEU	21.79%	14.94%	18.87%	14.33%	16.56%	15.03%	13.21%	12.14%	14.83%	14.35%	15.02%	16.50%	15.60%	21.79%	12.14%
7	SEU	18.74%	18.54%	18.64%	18.30%	18.17%	19.75%	18.10%	14.19%	18.66%	18.97%	17.74%	19.96%	18.25%	19.96%	14.19%
8	SEU	26.60%	27.83%	26.50%	26.77%	25.80%	28.55%	24.61%	23.91%	24.51%	28.59%	24.55%	25.70%	26.14%	28.59%	23.91%
9	SEU	30.67%	29.68%	27.19%	29.51%	27.25%	26.35%	27.65%	27.18%	24.65%	27.80%	27.91%	30.48%	28.13%	30.67%	24.65%
10	SEU	29.01%	28.91%	25.07%	27.04%	27.01%	29.37%	23.42%	24.85%	28.62%	27.64%	25.19%	29.00%	27.09%	29.37%	23.42%
11	SEU	28.72%	25.70%	23.79%	26.06%	23.54%	26.65%	24.31%	22.18%	23.15%	25.88%	23.34%	26.19%	25.00%	28.72%	22.18%
12	SEU	26.37%	23.97%	21.97%	25.10%	22.35%	23.06%	19.16%	20.11%	22.61%	21.30%	21.54%	22.09%	22.45%	26.37%	19.16%
13	SEU	23.01%	20.84%	19.35%	20.26%	19.31%	21.12%	17.47%	18.23%	20.60%	20.91%	18.77%	22.50%	20.15%	23.01%	17.47%
14	SEU	23.47%	20.54%	18.50%	19.50%	18.75%	21.29%	18.43%	16.36%	18.67%	19.57%	18.07%	21.00%	19.51%	23.47%	16.36%
15	SEU	27.43%	22.79%	20.55%	21.58%	22.45%	21.89%	19.79%	18.21%	19.92%	21.46%	21.73%	22.13%	21.73%	27.43%	18.21%
16	SEU	27.67%	24.08%	22.47%	22.63%	19.50%	21.10%	20.18%	19.01%	19.22%	19.33%	21.18%	23.55%	21.76%	27.67%	19.01%
17	SEU	23.74%	29.79%	22.74%	24.81%	21.83%	23.58%	21.55%	18.23%	21.69%	24.84%	22.82%	23.69%	22.84%	29.79%	18.23%
18	SEU	26.08%	24.71%	22.32%	23.14%	24.44%	23.42%	20.97%	19.05%	22.37%	22.90%	21.89%	25.02%	23.05%	26.08%	19.05%
19	SEU	24.00%	25.65%	21.25%	23.68%	22.69%	22.36%	19.61%	17.92%	20.26%	20.76%	23.33%	24.11%	22.11%	25.65%	17.92%
20	SEU	26.70%	28.39%	22.36%	23.80%	20.00%	23.40%	18.68%	17.78%	17.83%	20.30%	22.18%	22.84%	22.02%	28.39%	17.78%
21	SEU	26.94%	26.83%	23.61%	25.60%	22.94%	23.07%	19.88%	20.24%	21.43%	21.21%	20.46%	22.82%	22.82%	26.94%	17.45%
22	SEU	25.96%	25.67%	22.58%	24.65%	20.25%	24.14%	21.34%	19.71%	21.32%	26.25%	21.44%	23.57%	23.05%	26.25%	19.71%
23	SEU	24.71%	21.15%	20.55%	23.50%	21.39%	22.16%	18.86%	16.25%	21.15%	21.20%	21.47%	20.89%	21.01%	24.71%	16.25%
	MEDIA	23.79%	22.30%	20.68%	21.45%	20.38%	21.73%	18.68%	17.87%	19.76%	21.19%	20.40%	21.93%	20.82%		
	MAXIMO	30.67%	29.68%	27.19%	29.51%	27.25%	29.37%	27.65%	27.18%	28.62%	28.59%	27.91%	30.48%	28.13%		
	MINIMO	15.25%	14.94%	12.98%	13.72%	13.74%	14.20%	10.50%	12.14%	13.08%	14.22%	14.15%	15.30%	14.97%		

FRANJA	LINEA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA	MAXIMO	MINIMO
0	TPT	14.52%	15.09%	11.97%	14.27%	12.98%	15.69%	16.34%	15.05%	13.05%	11.32%	10.72%	12.12%	13.78%	16.34%	10.72%
1	TPT	15.29%	12.92%	13.62%	13.82%	16.28%	11.84%	18.45%	15.04%	13.62%	13.68%	15.85%	13.56%	14.63%	18.45%	11.84%
2	TPT	12.66%	14.86%	11.77%	13.22%	15.27%	13.33%	16.64%	14.71%	13.39%	10.47%	11.97%	13.13%	13.57%	16.64%	10.47%
3	TPT	14.23%	15.68%	14.10%	12.12%	13.90%	13.86%	16.78%	14.95%	13.77%	10.56%	11.00%	12.67%	13.77%	16.78%	10.56%
4	TPT	13.32%	13.74%	12.37%	13.83%	12.89%	13.53%	14.65%	15.53%	12.27%	11.03%	10.87%	14.37%	13.36%	15.53%	10.87%
5	TPT	12.88%	17.51%	12.66%	13.15%	15.29%	11.33%	15.21%	18.94%	12.56%	9.78%	9.64%	14.92%	13.87%	18.94%	9.64%
6	TPT	11.67%	17.64%	15.16%	11.43%	11.37%	11.96%	12.40%	17.11%	11.55%	10.57%	8.54%	12.56%	12.79%	17.64%	8.54%
7	TPT	10.26%	14.68%	9.67%	7.54%	8.92%	8.19%	13.43%	13.73%	10.22%	10.16%	8.20%	7.96%	10.36%	14.68%	7.54%
8	TPT	10.01%	11.00%	10.01%	11.51%	9.65%	10.77%	9.67%	9.45%	10.52%	6.53%	7.95%	8.60%	9.63%	11.51%	6.53%
9	TPT	8.94%	10.52%	9.21%	11.61%	9.22%	10.72%	11.16%	10.23%	12.61%	7.59%	9.96%	9.59%	10.07%	12.61%	7.59%
10	TPT	11.77%	12.83%	13.93%	13.08%	14.25%	13.28%	13.64%	12.59%	12.12%	10.34%	10.88%	11.03%	12.43%	14.25%	10.34%
11	TPT	12.87%	14.12%	13.09%	13.87%	13.48%	15.10%	14.16%	13.08%	14.47%	11.30%	12.42%	11.72%	13.27%	15.10%	11.30%
12	TPT	13.27%	14.02%	13.56%	14.51%	13.71%	12.78%	15.67%	14.31%	14.74%	11.83%	13.82%	14.49%	13.93%	15.67%	11.83%
13	TPT	15.10%	15.75%	15.20%	15.05%	15.38%	15.59%	17.11%	16.76%	16.24%	12.12%	14.60%	14.56%	15.32%	17.11%	12.12%
14	TPT	13.83%	15.42%	15.53%	16.63%	17.48%	14.82%	18.01%	16.49%	17.72%	13.70%	15.31%	16.48%	15.98%	18.01%	13.70%
15	TPT	13.28%	15.29%	14.91%	14.72%	16.39%	15.82%	17.94%	16.17%	18.89%	11.14%	16.45%	13.21%	15.29%	18.89%	11.14%
16	TPT	14.75%	14.71%	14.18%	14.85%	15.27%	15.79%	16.28%	16.70%	18.01%	14.09%	14.75%	15.06%	15.38%	18.01%	14.09%
17	TPT	13.34%	15.32%	12.74%	14.39%	13.88%	14.08%	14.64%	15.51%	15.63%	10.81%	13.13%	13.20%	13.89%	15.63%	10.81%
18	TPT	12.25%	16.96%	13.37%	14.01%	11.93%	12.61%	14.56%	14.99%	15.39%	9.64%	12.79%	12.42%	13.41%	16.96%	9.64%
19	TPT	14.90%	14.48%	13.53%	13.40%	11.54%	13.89%	14.88%	15.11%	14.89%	11.97%	12.81%	12.46%	13.70%	15.11%	11.54%
20	TPT	12.48%	13.69%	12.47%	12.87%	13.45%	13.02%	16.93%	14.00%	14.76%	11.89%	11.27%	11.78%	13.24%	16.93%	11.27%
21	TPT	9.85%	12.96%	12.75%	11.68%	13.01%	13.36%	15.50%	14.51%	15.16%	11.88%	12.53%	11.85%	12.91%	15.50%	9.85%
22	TPT	12.66%	12.05%	13.98%	13.00%	15.45%	13.65%	15.98%	16.49%	16.27%	12.91%	14.40%	13.51%	14.23%	16.49%	12.05%
23	TPT	14.03%	15.05%	12.25%	13.75%	15.30%	13.35%	16.22%	17.10%	15.79%	16.02%	14.44%	12.95%	14.76%	17.10%	12.25%
	MEDIA	12.84%	14.43%	13.00%	13.26%	13.59%	13.26%	15.26%	14.94%	14.32%	11.30%	12.26%	12.68%	13.48%		
	MAXIMO	15.29%	17.64%	15.53%	16.63%	17.48%	15.82%	18.45%	18.94%	18.89%	16.02%	16.45%	16.48%	15.98%		
	MINIMO	8.94%	10.52%	9.21%	7.54%	8.92%	8.19%	9.67%	9.45%	10.22%	6.53%	7.95%	7.96%	9.63%		

ANEXO IV. TIEMPOS MEDIOS DE SERVICIO POR FRANJA Y MES PARA LAS LÍNEAS 061, SERVICIO DE URGENCIAS Y TRANSPORTE

FRANJA	LINEA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBR	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	MEDIA
0	61	170.19	182.97	170.79	160.15	161.55	159.43	148.19	146.09	154.61	167.13	174.78	194.37	165.09
1	61	168.29	177.45	172.94	160.30	161.44	173.03	148.32	137.04	167.34	173.56	163.09	192.93	164.84
2	61	181.05	162.83	171.97	146.57	166.83	146.13	131.48	151.84	166.01	146.33	162.66	153.43	156.08
3	61	189.84	177.11	167.52	153.44	171.18	137.62	133.23	137.50	155.69	155.75	141.70	150.93	154.63
4	61	166.47	167.26	164.20	139.12	157.43	160.07	135.77	137.46	141.11	159.91	146.43	164.25	152.05
5	61	179.58	167.23	166.94	140.87	147.33	150.95	156.20	149.78	143.67	155.71	148.69	140.41	153.82
6	61	159.15	163.15	139.49	142.32	156.41	151.91	129.10	136.40	141.53	137.45	141.51	147.50	144.80
7	61	143.31	148.17	146.67	132.85	120.46	133.60	127.69	131.03	128.63	147.71	142.80	148.04	137.44
8	61	146.73	145.58	147.26	149.11	152.10	146.11	156.57	138.30	162.99	139.29	142.79	154.54	148.56
9	61	181.88	157.86	148.59	151.30	144.15	152.52	155.64	156.66	167.65	153.64	161.33	165.66	158.50
10	61	185.78	153.13	144.52	153.31	148.19	149.27	148.57	152.89	151.04	160.50	147.78	180.42	157.10
11	61	169.46	144.53	141.28	158.74	138.10	156.28	134.11	141.39	153.71	139.82	139.66	179.89	149.94
12	61	154.25	144.79	137.17	142.60	139.32	143.56	127.49	129.34	137.69	141.52	133.05	154.17	140.33
13	61	160.53	138.27	133.16	148.85	141.24	139.37	136.30	142.02	134.29	140.05	137.89	152.15	142.17
14	61	150.39	158.00	136.99	146.67	139.39	138.11	143.99	134.51	141.13	144.35	133.38	154.22	143.49
15	61	155.66	147.60	149.99	142.17	144.08	152.52	135.58	141.93	149.38	145.39	149.26	148.03	146.55
16	61	158.28	147.79	148.38	152.30	135.81	138.83	141.83	141.85	146.59	145.56	144.22	157.94	146.72
17	61	151.09	154.36	138.76	157.11	141.40	148.26	138.10	145.55	147.08	147.74	143.93	152.81	147.10
18	61	168.82	152.45	154.45	149.35	145.30	151.04	137.00	144.35	148.89	151.79	154.31	160.58	151.59
19	61	176.51	171.45	155.88	163.05	138.01	151.61	150.94	150.51	147.66	156.93	153.38	159.59	156.34
20	61	172.96	172.66	176.11	153.95	144.92	174.15	154.77	138.74	160.18	164.23	165.23	167.42	161.66
21	61	201.77	182.06	184.10	169.26	164.34	172.65	155.87	160.52	165.40	170.05	169.32	180.08	172.82
22	61	206.29	183.23	178.20	188.80	184.21	183.53	161.69	160.09	159.94	184.76	183.53	180.71	179.24
23	61	179.39	182.43	181.16	176.02	180.56	199.28	170.27	164.32	163.43	167.52	170.90	167.63	175.21

FRANJA	LINEA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBR	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
0	SEU	288.44	250.05	266.95	241.14	245.16	245.03	246.33	242.66	237.60	237.51	223.31	284.51
1	SEU	242.86	242.00	242.03	247.68	258.22	234.08	265.04	263.28	246.20	247.50	240.16	257.11
2	SEU	253.11	241.80	255.30	217.73	234.51	237.60	241.69	235.03	232.55	217.91	220.57	259.94
3	SEU	216.35	231.32	221.32	223.61	217.22	216.07	271.21	217.06	221.34	230.46	218.24	247.91
4	SEU	242.02	220.59	204.23	192.89	196.92	232.55	258.53	205.54	208.48	193.31	195.62	220.84
5	SEU	224.00	214.16	190.74	196.52	213.07	195.97	236.51	218.78	173.85	191.92	214.47	218.58
6	SEU	182.67	198.94	214.41	185.55	218.50	200.03	194.79	229.83	226.49	197.09	203.43	194.02
7	SEU	183.65	178.29	191.26	173.12	201.75	182.04	188.07	193.18	185.50	174.93	181.36	181.98
8	SEU	167.86	180.20	180.86	170.29	168.96	168.39	182.49	163.45	177.68	139.01	150.22	175.06
9	SEU	214.38	189.48	181.23	171.47	178.06	182.84	192.43	197.24	189.27	190.67	202.59	200.21
10	SEU	236.40	211.82	189.97	209.51	177.88	205.73	206.43	206.68	188.37	194.96	197.87	242.36
11	SEU	247.39	201.35	201.35	200.96	192.27	225.67	193.64	192.11	186.29	192.64	193.49	267.60
12	SEU	212.45	190.38	217.38	192.27	191.44	202.07	201.53	209.68	197.01	187.59	176.24	227.13
13	SEU	229.98	206.75	211.71	208.77	191.31	196.12	186.62	199.26	176.04	195.81	178.00	204.98
14	SEU	229.18	231.39	220.40	205.30	198.85	223.85	209.81	194.87	186.38	218.07	192.92	204.44
15	SEU	212.36	215.90	196.88	225.23	187.44	224.26	205.51	211.49	225.39	197.12	196.12	217.19
16	SEU	231.35	219.49	212.84	217.59	206.86	212.03	216.50	213.20	207.36	203.66	210.52	235.02
17	SEU	233.15	230.90	224.37	216.37	209.54	223.25	215.63	202.53	218.01	211.34	219.98	216.71
18	SEU	270.14	235.52	237.67	234.30	238.77	236.77	225.58	217.61	209.64	228.31	223.06	250.48
19	SEU	267.72	274.35	243.70	243.34	234.88	231.37	223.98	221.42	233.15	245.28	231.39	252.47
20	SEU	276.39	288.12	277.62	235.14	229.06	279.61	243.99	250.65	259.56	250.24	245.40	255.82
21	SEU	285.92	272.89	278.16	249.52	252.09	301.94	265.75	250.36	245.09	275.59	269.39	289.75
22	SEU	294.88	293.87	261.84	286.93	271.22	281.63	262.23	264.70	245.78	261.92	258.93	298.91
23	SEU	300.81	282.72	274.56	277.42	291.53	299.52	284.93	286.47	228.77	265.26	253.74	263.75

FRANJA	LINEA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	MEDIA
0	TPT	65.45	84.46	63.84	66.56	67.85	62.92	72.69	71.87	71.75	67.33	60.60	72.45	69.42
1	TPT	69.00	64.79	79.35	72.01	62.16	64.93	74.48	73.93	74.32	75.42	81.39	68.38	71.84
2	TPT	74.01	55.88	65.58	75.50	70.21	73.54	72.55	75.22	64.50	86.64	58.38	63.55	69.84
3	TPT	60.90	65.82	66.70	85.16	69.61	73.23	64.45	80.27	71.17	72.44	71.97	56.36	69.26
4	TPT	45.12	48.12	63.35	68.36	61.36	84.53	65.39	64.11	64.57	53.65	50.40	73.01	62.63
5	TPT	72.12	65.34	76.30	71.96	62.89	73.71	66.16	73.59	81.26	60.31	44.13	84.02	70.58
6	TPT	63.61	80.31	52.56	41.75	76.30	73.18	63.00	65.75	49.64	45.29	54.00	69.66	62.60
7	TPT	55.34	67.48	57.21	83.25	60.38	75.21	66.92	66.27	70.25	58.75	67.41	63.56	65.52
8	TPT	74.65	66.69	60.36	61.46	55.18	68.56	54.87	62.80	73.15	58.32	59.19	60.25	63.11
9	TPT	64.10	64.00	63.75	66.30	65.49	64.32	63.55	65.12	44.60	69.34	68.14	65.51	63.48
10	TPT	65.18	65.75	59.67	62.53	58.10	65.78	55.64	61.60	64.49	58.14	72.09	73.75	63.47
11	TPT	68.73	71.22	65.85	64.38	62.07	64.70	58.84	64.25	62.27	65.12	74.86	67.89	65.78
12	TPT	67.17	69.85	71.26	73.79	67.30	67.07	68.69	70.99	73.48	67.40	65.65	68.40	69.27
13	TPT	68.51	68.81	63.46	63.28	69.84	58.63	65.98	73.70	73.83	62.51	75.10	68.71	67.89
14	TPT	72.72	71.60	75.63	66.92	71.60	60.82	66.18	61.28	68.02	68.34	71.78	65.75	68.29
15	TPT	77.25	60.25	63.90	56.73	64.73	66.07	62.51	58.23	74.35	70.66	62.76	61.26	64.80
16	TPT	74.98	67.60	71.66	66.85	69.57	69.32	65.96	67.86	64.08	64.62	63.16	64.72	67.54
17	TPT	71.42	74.64	70.15	68.40	61.33	62.59	66.51	68.55	68.41	79.53	70.20	75.71	69.74
18	TPT	73.64	75.18	64.16	70.47	63.19	60.61	65.17	63.92	76.30	69.32	53.88	69.67	67.49
19	TPT	71.59	74.83	67.60	64.99	68.11	70.61	62.09	67.66	58.53	70.91	63.64	61.06	66.80
20	TPT	77.90	72.31	65.49	57.34	68.34	65.83	67.84	68.22	71.50	72.80	65.92	72.00	68.95
21	TPT	69.58	72.09	64.00	62.29	61.30	60.20	62.35	64.16	70.66	68.08	70.18	60.82	65.27
22	TPT	75.91	71.69	74.46	70.85	65.00	68.15	67.80	68.10	72.56	64.05	62.24	73.54	69.46
23	TPT	68.64	73.85	64.60	54.92	74.84	63.18	80.83	72.38	60.88	64.41	67.36	56.67	67.69

ANEXO V: LLAMADAS EMITIDAS POR FRANJA Y MES EN 2007, Y TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE LAS LLAMADAS EMITIDAS CON IGUAL DESGLOSE.

LLAMADAS EMITIDAS TOTALES 2007																		
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA	STD	CV	MAX	MIN
0	1,434	1,180	1,105	1,398	1,432	1,608	1,559	1,534	1,212	1,321	1,331	1,558	16,672	1,389.3	156.5	0.11	1,608	1,105
1	1,119	1,026	1,038	1,149	1,054	1,148	1,414	1,307	1,067	1,078	1,035	1,132	13,567	1,130.6	113.1	0.10	1,414	1,026
2	904	801	784	936	818	1,072	1,026	1,147	809	1,071	797	935	11,100	925.0	122.3	0.13	1,147	784
3	830	783	747	828	722	680	930	872	852	765	775	775	9,549	795.8	66.4	0.08	930	680
4	757	677	775	879	678	819	823	973	906	791	716	776	9,570	797.5	85.8	0.11	973	677
5	867	596	674	912	571	797	715	876	705	626	573	802	8,714	726.2	117.4	0.16	912	571
6	778	738	677	711	549	920	718	764	538	652	704	842	8,591	715.9	103.9	0.15	920	538
7	862	810	807	807	897	788	992	908	691	784	836	856	10,038	836.5	72.3	0.09	992	691
8	1,796	1,440	1,805	1,712	1,809	1,815	2,092	1,855	1,707	1,763	1,815	2,095	21,704	1,808.7	163.9	0.09	2,095	1,440
9	2,486	2,227	2,097	1,884	2,154	2,205	2,315	2,212	1,874	2,074	2,202	2,499	26,229	2,185.8	186.6	0.09	2,499	1,874
10	2,921	2,411	2,521	2,283	2,745	2,544	2,618	2,740	2,421	2,551	2,800	2,994	31,549	2,629.1	206.0	0.08	2,994	2,283
11	2,901	2,667	2,872	2,978	2,988	2,718	2,741	3,110	2,949	3,178	2,662	3,669	35,433	2,952.8	268.6	0.09	3,669	2,662
12	3,349	2,757	2,819	3,214	3,296	3,068	2,913	3,397	2,878	3,085	2,917	3,477	37,170	3,097.5	234.4	0.08	3,477	2,757
13	2,994	2,833	2,972	2,897	3,103	2,820	3,143	3,222	2,622	2,947	2,843	3,433	35,829	2,985.8	205.6	0.07	3,433	2,622
14	2,669	2,495	2,806	2,596	2,534	2,723	2,843	2,879	2,517	2,520	2,463	2,768	31,813	2,651.1	142.5	0.05	2,879	2,463
15	2,760	2,053	2,250	2,312	2,279	2,541	2,441	2,380	2,246	2,495	2,136	2,420	28,313	2,359.4	182.6	0.08	2,760	2,053
16	2,323	2,176	2,204	2,033	2,152	2,107	2,301	2,131	2,073	2,279	2,203	2,308	26,290	2,190.8	92.5	0.04	2,323	2,033
17	2,194	1,959	2,211	2,202	2,148	2,091	2,295	2,289	2,153	2,220	2,107	2,531	26,400	2,200.0	132.5	0.06	2,531	1,959
18	2,516	2,065	2,108	2,125	2,254	2,611	2,341	2,315	2,161	2,417	2,366	2,477	27,756	2,313.0	167.5	0.07	2,611	2,065
19	2,739	2,018	2,126	2,305	2,306	2,353	2,445	2,425	2,430	2,522	2,121	2,677	28,467	2,372.3	208.1	0.09	2,739	2,018
20	2,504	2,169	2,397	2,355	2,582	2,332	2,668	2,458	2,431	2,551	2,370	2,388	29,205	2,433.8	125.9	0.05	2,668	2,169
21	2,452	2,082	2,278	2,275	2,307	2,383	2,401	2,444	2,320	2,261	2,177	2,189	27,569	2,297.4	107.6	0.05	2,452	2,082
22	2,064	1,759	2,024	1,980	2,017	2,212	2,267	2,429	2,086	1,908	1,717	2,027	24,490	2,040.8	191.6	0.09	2,429	1,717
23	1,778	1,432	1,676	1,737	1,894	2,011	2,234	2,032	1,844	1,677	1,712	1,784	21,811	1,817.6	198.4	0.11	2,234	1,432
Total	47,997	41,154	43,773	44,508	45,289	46,366	48,235	48,699	43,492	45,536	43,368	49,412	547,829	45,652				
Media	2,000	1,715	1,824	1,855	1,887	1,932	2,010	2,029	1,812	1,897	1,807	2,059						
Std	829.67	714.85	772.56	733.00	830.45	741.20	753.72	787.81	745.28	803.41	754.07	899.37						
CV	0.41	0.42	0.42	0.40	0.44	0.38	0.38	0.39	0.41	0.42	0.42	0.44						

TIEMPOS MEDIOS DE OCUPACION DE LAS LLAMADAS EMITIDAS EN 2007																		
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA	STD	CV			
0	78.60	89.03	76.41	84.17	82.04	83.20	87.00	83.48	83.70	80.79	73.61	86.67	82.39	4.28	0.05			
1	85.36	79.35	88.99	74.99	87.81	75.46	83.02	78.58	86.34	85.04	78.26	85.25	82.37	4.62	0.06			
2	93.53	73.49	79.12	84.11	86.00	73.20	81.60	81.09	80.77	68.68	77.75	80.47	79.98	6.21	0.08			
3	81.59	72.55	81.11	78.38	74.17	78.53	85.29	78.17	77.02	82.23	84.08	86.72	79.99	4.13	0.05			
4	79.01	72.62	89.95	83.90	83.98	78.06	82.71	82.83	74.16	81.03	75.47	89.58	81.11	5.30	0.07			
5	82.29	83.67	77.90	75.13	80.83	72.18	83.64	78.07	69.94	71.78	73.91	75.99	77.11	4.54	0.06			
6	72.91	81.55	75.79	70.44	92.17	71.95	84.81	83.76	77.23	82.52	77.23	81.13	79.29	5.98	0.08			
7	78.66	86.37	76.28	70.92	74.87	76.77	76.46	79.71	70.57	73.31	82.81	76.29	76.92	4.37	0.06			
8	70.43	71.41	76.51	70.35	70.65	71.50	70.28	69.81	72.51	72.44	71.63	66.33	71.15	2.23	0.03			
9	87.43	80.03	80.46	80.65	77.27	81.19	88.51	84.66	86.64	82.79	84.82	92.42	83.91	4.13	0.05			
10	85.13	84.42	76.17	87.60	82.26	88.17	82.53	83.55	87.09	87.01	82.64	89.21	84.65	3.43	0.04			
11	90.11	84.76	80.96	81.85	80.69	89.33	83.25	89.23	86.16	83.07	85.42	85.75	85.05	3.12	0.04			
12	85.71	85.53	74.18	79.33	81.33	84.77	87.77	83.26	82.13	79.74	79.38	85.49	82.39	3.65	0.04			
13	84.59	82.88	77.86	76.51	76.66	83.38	82.58	80.66	82.09	78.92	76.53	81.40	80.34	2.80	0.03			
14	80.85	80.26	75.00	77.14	73.64	74.88	78.20	80.82	78.59	77.19	77.25	80.57	77.87	2.37	0.03			
15	83.47	76.11	76.91	80.61	75.72	80.21	81.17	81.53	80.81	77.56	79.20	73.62	78.91	2.78	0.04			
16	83.12	74.93	82.17	80.19	79.16	78.18	80.85	82.30	82.31	80.25	83.20	84.14	80.90	2.47	0.03			
17	86.64	91.43	80.11	77.83	83.41	85.05	79.97	81.84	78.52	80.35	78.77	84.32	82.35	3.83	0.05			
18	84.38	82.49	85.53	87.53	84.27	78.21	91.12	85.42	85.98	84.24	82.41	92.43	85.33	3.65	0.04			
19	87.21	83.36	81.86	76.26	82.41	78.72	84.55	80.93	85.23	80.77	83.55	83.47	82.36	2.82	0.03			
20	84.14	80.46	86.87	86.27	78.32	83.45	80.35	77.27	83.05	82.73	86.09	86.06	82.92	3.09	0.04			
21	94.35	87.33	84.48	83.93	78.85	79.55	85.35	85.65	83.22	82.91	83.14	84.95	84.48	3.76	0.04			
22	88.70	83.98	80.27	84.77	81.74	83.86	80.96	81.56	76.31	84.42	80.33	86.76	82.81	3.16	0.04			
23	85.01	85.94	76.52	80.21	88.30	85.27	84.45	85.34	78.74	84.41	88.13	77.54	83.32	3.85	0.05			
MEDIA	83.88	81.41	80.06	79.71	80.69	79.79	82.77	81.65	80.38	80.17	80.23	83.19	81.16					
Std	5.41	5.37	4.33	5.01	5.00	4.98	4.14	3.69	4.99	4.52	4.24	5.93						
CV	0.06	0.07	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05	0.07						

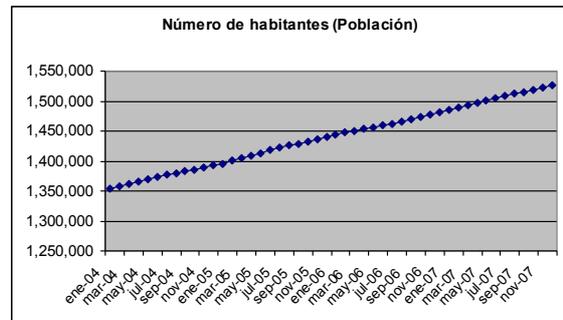
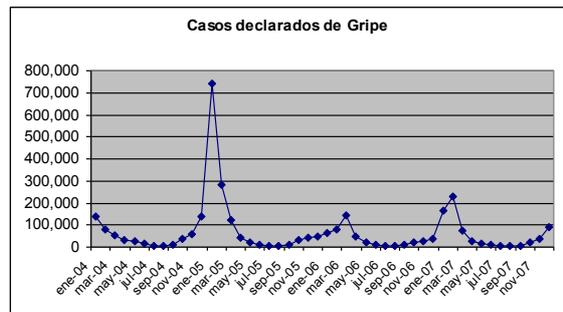
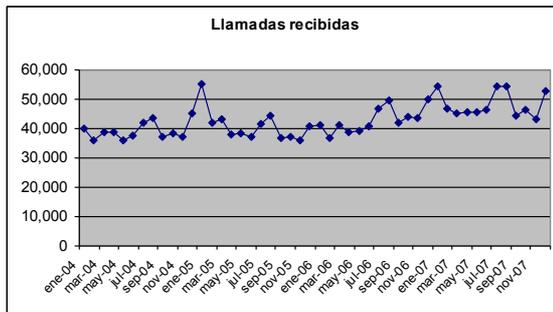
COEFICIENTES DE VARIACION DE TIEMPO DE OCUPACION DE LLAMADAS EMITIDAS 2007													
FRANJA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
0	1.13	1.29	1.06	1.20	1.17	1.19	1.19	1.11	1.05	1.23	1.10	1.11	1.15
1	1.05	1.16	2.16	1.45	1.41	1.05	1.18	1.03	1.35	1.20	1.22	1.13	1.28
2	1.22	0.94	1.21	1.25	1.06	1.26	1.03	1.17	1.01	1.22	0.98	1.06	1.12
3	1.09	1.21	1.05	1.18	1.23	1.13	1.18	1.15	1.08	1.01	1.08	1.29	1.14
4	0.98	1.17	1.35	1.39	1.18	1.09	1.14	1.16	1.16	1.18	1.23	1.17	1.19
5	1.19	1.15	1.15	2.06	1.10	1.20	1.41	1.07	1.06	1.01	0.90	1.07	1.20
6	1.00	1.22	1.17	0.87	1.21	1.46	1.19	1.14	1.01	1.17	1.45	1.05	1.16
7	1.10	1.20	1.20	1.18	1.08	1.24	1.24	1.03	1.11	1.02	1.12	1.19	1.14
8	1.52	1.24	1.33	1.22	1.22	1.30	1.25	1.17	1.25	1.26	1.20	1.30	1.27
9	1.34	1.23	1.36	1.18	1.24	1.31	1.45	1.25	1.43	1.20	1.40	1.29	1.31
10	1.56	1.30	1.29	1.41	1.38	1.47	1.42	1.31	1.37	1.25	1.27	1.42	1.37
11	1.32	1.40	1.26	1.31	1.29	1.47	1.28	1.38	1.42	1.28	1.17	1.45	1.34
12	1.31	1.28	1.20	1.22	1.24	1.32	1.29	1.25	1.24	1.18	1.15	1.28	1.25
13	1.23	1.25	1.28	1.33	1.26	1.30	1.25	1.32	1.08	1.17	1.18	1.28	1.25
14	1.30	1.24	1.31	1.26	1.19	1.21	1.17	1.23	1.14	1.16	1.15	1.24	1.22
15	1.29	1.14	1.28	1.23	1.15	1.24	1.29	1.14	1.19	1.10	1.21	1.08	1.19
16	1.31	1.17	1.20	1.10	1.26	1.11	1.13	1.06	1.17	1.10	1.38	1.14	1.18
17	1.16	1.49	1.27	1.24	1.66	1.36	1.28	1.17	1.12	1.07	1.13	1.27	1.27
18	1.29	1.19	1.49	1.27	1.37	1.25	1.24	1.28	1.20	1.18	1.26	1.33	1.28
19	1.26	1.19	1.27	1.26	1.33	1.11	1.27	1.15	1.23	1.22	1.19	1.32	1.23
20	1.27	1.28	1.34	1.52	1.21	1.20	1.21	1.12	1.11	1.20	1.16	1.15	1.23
21	1.24	1.28	1.33	1.20	1.09	1.26	1.15	1.11	1.16	1.06	1.18	1.19	1.19
22	1.21	1.20	1.45	1.30	1.16	1.44	1.19	1.30	1.17	1.13	1.09	1.52	1.26
23	1.19	1.27	1.28	1.14	1.30	1.22	1.32	1.16	1.12	1.23	1.33	1.20	1.23
TOTAL	1.27	1.26	1.33	1.29	1.27	1.28	1.25	1.20	1.20	1.17	1.21	1.27	1.25

ANEXO VI: PESOS SINÁPTICOS O ESTIMACIONES DE LOS COEFICIENTES DE LA RED NEURONAL PERCEPTRÓN MULTICAPA.

Estimaciones de los parámetros

Predictor	Pronosticado									
	Capa oculta 1							Capa de salida		
	H(1:1)	H(1:2)	H(1:3)	H(1:4)	H(1:5)	H(1:6)	H(1:7)	[Suceso=0]	[Suceso=1]	
Capa de entrada (Sesgo)	,010	,521	2,289	,491	-2,585	-,124	-,649			
[LINEA_TIPO=1.00]	-,476	,483	,796	,697	-,528	,902	-,446			
[LINEA_TIPO=2.00]	1,567	,293	,645	-,536	-,668	-,939	-,273			
[LINEA_TIPO=3.00]	-,690	-,063	,578	-,410	-,384	-,022	-,236			
[LINEA_TIPO=4.00]	-,819	,655	,634	,392	-,392	,147	,636			
[LINEA_TIPO=5.00]	,703	-,404	,918	,318	-,408	-,394	4,646E-5			
Med_Coor	-,627	,524	-,027	,085	-,100	,252	-,154			
operadores	-,101	,002	-,002	,262	-,091	,238	-,218			
Tiempo_1	-,103	-,530	3,420	,632	-3,431	1,753	-,301			
operadores_Med_Coord	,804	-,120	,093	-,468	,224	-,428	-,244			
Capa oculta 1 (Sesgo)								-,510	,994	
H(1:1)								,529	-,705	
H(1:2)								,627	-,328	
H(1:3)								1,222	-1,956	
H(1:4)								-,669	,803	
H(1:5)								-1,511	1,704	
H(1:6)								-,366	,080	
H(1:7)								,622	-,569	

ANEXO VII: LLAMADAS, CASOS DE GRIPE, PERNOCTACIONES Y POBLACIÓN. SERVICIO PROVINCIAL DE MÁLAGA DE LA EMPRESA PÚBLICA DE EMERGENCIAS SANITARIAS. 2004 A 2007.



ANEXO VIII: RESULTADOS DEL TEST DE DICKEY-FULLER AUMENTADO Y TEST DE CAUSALIDAD DE GRANGER

Pairwise Granger Causality Tests

Lags: 12

Null Hypothesis:	F-Statistic	Probability
LLAMADAS does not Granger Cause GRIPE	1.23284	0.37525
GRIPE does not Granger Cause LLAMADAS	5.76969	0.00465
PERNOCTACIONES does not Granger Cause LLAMADAS	2.01986	0.137
LLAMADAS does not Granger Cause PERNOCTACIONES	1.45062	0.28198
POBLACION does not Granger Cause LLAMADAS	0.53932	0.84538
LLAMADAS does not Granger Cause POBLACION	0.40345	0.9305

Null Hypothesis: D(LLAMADAS) has a unit root

Exogenous: Constant

Lag Length: 3 (Automatic based on SIC, MAXLAG=9)

Augmented Dickey-Fuller test statistic

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-6.50913	0.000001
Test critical values: 1% level	-3.596616	
5% level	-2.933158	
10% level	-2.604867	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation

Dependent Variable: D(LLAMADAS,2)

Method: Least Squares

Date: 09/26/13 Time: 13:52

Sample (adjusted): 6 47

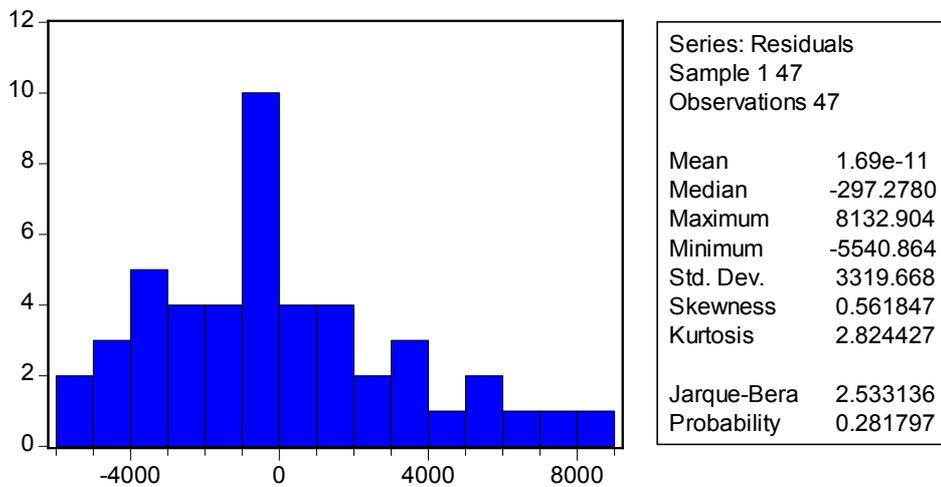
Included observations: 42 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(LLAMADAS(-1))	-2.848354	0.437594	-6.50913	0
D(LLAMADAS(-1),2)	1.404208	0.350346	4.008065	0.0003
D(LLAMADAS(-2),2)	0.927704	0.258967	3.582321	0.001
D(LLAMADAS(-3),2)	0.46476	0.157957	2.942317	0.0056
C	682.2181	674.2847	1.011766	0.3182
R-squared	0.714582	Mean dependent var		-6.02381
Adjusted R-squared	0.683726	S.D. dependent var		7634.158
S.E. of regression	4293.316	Akaike info criterion		19.67885
Sum squared resid	6.82E+08	Schwarz criterion		19.88572
Log likelihood	-408.2558	F-statistic		23.15862

Durbin-Watson stat	2.095986	Prob(F-statistic)	0
--------------------	----------	-------------------	---

ANEXO IX: PRUEBAS DE ESPECIFICACIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL DE PRONÓSTICO

White Heteroskedasticity Test:			
	p		
F-statistic	1.632179	Prob. F(6,40)	0.16355
Obs*R-squared	9.243743	Prob. Chi-Square(6)	0.160327



Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.324	0.324	5.2709	0.022
		2	-0.019	-0.139	5.2895	0.071
		3	0.027	0.090	5.3278	0.149
		4	0.166	0.142	6.8095	0.146
		5	0.255	0.178	10.371	0.065
		6	0.039	-0.099	10.455	0.107
		7	0.227	0.334	13.418	0.063
		8	0.042	-0.244	13.524	0.095
		9	-0.148	-0.107	14.846	0.095
		10	-0.272	-0.334	19.460	0.035
		11	-0.092	0.103	20.003	0.045
		12	0.251	0.114	24.146	0.019
		13	-0.132	-0.239	25.326	0.021
		14	-0.364	-0.238	34.593	0.002
		15	-0.347	-0.091	43.251	0.000
		16	-0.160	-0.066	45.147	0.000
		17	-0.045	0.081	45.301	0.000
		18	-0.195	-0.097	48.319	0.000
		19	-0.047	0.030	48.505	0.000
		20	-0.105	-0.044	49.452	0.000

Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:				
F-statistic	4.737523	Prob. F(24,19)		0.000516
Obs*R-squared	40.27056	Prob. Chi-Square(24)		0.019999
Test Equation:				
Dependent Variable: RESID				
Method: Least Squares				
Sample: 1 48				
Included observations: 48				
Presample missing value lagged residuals set to zero.				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	52946.54	22117.66	2.393858	0.0271
C(2)	-0.036407	0.015696	-2.319514	0.0317
C(3)	-0.219707	0.13363	-1.644148	0.1166
C(4)	-0.024328	0.033835	-0.719004	0.4809
RESID(-1)	-0.062706	0.207453	-0.302269	0.7657
RESID(-2)	-0.401509	0.197936	-2.028483	0.0568
RESID(-3)	0.099561	0.207271	0.480344	0.6365
RESID(-4)	-0.051867	0.210332	-0.246594	0.8079
RESID(-5)	0.436087	0.220228	1.980158	0.0624
RESID(-6)	0.032959	0.263439	0.12511	0.9018
RESID(-7)	0.128674	0.250102	0.514488	0.6128
RESID(-8)	-0.287549	0.231251	-1.243447	0.2288
RESID(-9)	0.065008	0.212857	0.305407	0.7634
RESID(-10)	-0.298308	0.213188	-1.399272	0.1778
RESID(-11)	0.19115	0.23087	0.827954	0.418
RESID(-12)	0.734072	0.248972	2.948415	0.0083
RESID(-13)	0.219323	0.261437	0.838913	0.4119
RESID(-14)	-0.278429	0.271427	-1.025799	0.3179
RESID(-15)	-0.570939	0.276732	-2.063147	0.053
RESID(-16)	-0.9945	0.311771	-3.189836	0.0048
RESID(-17)	-1.003482	0.407804	-2.460698	0.0236
RESID(-18)	-0.64911	0.39877	-1.627782	0.12
RESID(-19)	-0.161722	0.40385	-0.400451	0.6933
RESID(-20)	0.025655	0.400007	0.064136	0.9495
RESID(-21)	0.447753	0.455289	0.983448	0.3377
RESID(-22)	0.47581	0.48385	0.983383	0.3378
RESID(-23)	0.293256	0.41909	0.699745	0.4926
RESID(-24)	0.477416	0.35739	1.33584	0.1974
R-squared	0.85682	Mean dependent var		6.45E-12
Adjusted R-squared	0.653355	S.D. dependent var		3319.668
S.E. of regression	1954.507	Akaike info criterion		18.27944
Sum squared resid	72581835	Schwarz criterion		19.38166
Log likelihood	-401.5669	Durbin-Watson stat		2.161744

ANEXO X: FÓRMULAS BÁSICAS DEL MODELO M/M/S.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu s}$$

$$P_0 = \frac{1}{\frac{\rho^s}{s!} \left(\frac{s\mu}{s\mu - \lambda} \right) + \sum_{n=0}^{s-1} \frac{\rho^n}{n!}}$$

$$L_q = \frac{\rho^s \lambda \mu}{(s-1)!(s\mu - \lambda)^2} P_0 \quad L_s = L_q + \frac{\lambda}{\mu} \quad W_q = \frac{L_q}{\lambda}$$

$$W_s = W_q + \frac{1}{\mu} \quad P_n = \frac{\rho^n}{n!} P_0, \text{ si } n \leq k$$

$$P_n = \frac{\rho^n}{s! s^{n-s}} P_0, \text{ si } n > k \quad P_w = \frac{1}{s!} \rho^s \left(\frac{s\mu}{s\mu - \lambda} \right) P_0$$

Tasa _ Entrada = λ

Tasa _ Servicio = μ

Número _ de _ Clientes = n

Capacidad _ cola = k

Número _ de _ servidores = s

ANEXO XI: FÓRMULAS BÁSICAS DEL MODELO M/M/S+K.

$$\hat{\theta} = \frac{P\{\text{Ab}\}}{E[W]} = \frac{\% \text{Abandonment}}{\text{Average Wait}}.$$

QED (Quality and Efficiency-Driven) regime.

$$n \approx R + \beta \sqrt{R}, \quad -\infty < \beta < \infty;$$

$$P\{W > 0\} = \frac{A\left(\frac{n\mu}{\theta}, \frac{\lambda}{\theta}\right) \cdot E_{1,n}}{1 + \left(A\left(\frac{n\mu}{\theta}, \frac{\lambda}{\theta}\right) - 1\right) \cdot E_{1,n}},$$

$$P[\text{Ab}|W > 0] = \frac{1}{\rho A\left(\frac{n\mu}{\theta}, \frac{\lambda}{\theta}\right)} + 1 - \frac{1}{\rho}.$$

$$E[W|W > 0] = \frac{1}{\theta} \cdot \left[\frac{1}{\rho A\left(\frac{n\mu}{\theta}, \frac{\lambda}{\theta}\right)} + 1 - \frac{1}{\rho} \right].$$

ANEXO XII: FÓRMULAS BÁSICAS DEL MODELO DE RED DE JACKSON ABIERTA

$$p(n) = \prod_{i=1}^M p_i(n_i); \quad \rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i} < 1; \quad p_i(n_i) = (1 - \rho_i) \rho_i^{n_i};$$

$$E[n_i] = \frac{\rho_i}{1 - \rho_i}; \quad E[n] = \sum_{i=1}^M \frac{\rho_i}{1 - \rho_i}; \quad E[T] = \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^M \frac{\rho_i}{1 - \rho_i} = \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^M \frac{\lambda_i}{\mu_i - \lambda_i}$$

$$P_n = \frac{(\rho N)^n}{n!} P_0; \quad n \leq N; \quad P_n = \frac{N^n \rho^N}{N!} P_0; \quad n \geq N$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{N-1} \frac{(N\rho)^n}{n!} + \frac{1}{1-\rho} \frac{(N\rho)^N}{N!}}; \quad \rho = \frac{\lambda}{\mu N};$$

$$P(\text{retardo}) = \frac{1}{1-\rho} \cdot \frac{(N\rho)^N}{N!} P_0 = E_{2,N}(A); \quad A = \rho N = \frac{\lambda}{\mu}; \quad 2^{\text{a}} \text{ Distr. Erlang (Erlang - C)}$$

$$E[q] = \left(\frac{\rho}{1-\rho} \right) \cdot E_{2,N}(A); \quad E[n] = A + E[q]; \quad E[w] = \frac{1}{\mu} \frac{E_{2,N}(A)}{N-A}; \quad E[T] = \frac{1}{\mu} + E[w]$$

ANEXO XIII: DIFERENCIAS MENSUALES ENTRE LA PROGRAMACIÓN REAL, NECESIDADES DE PLANTILLA Y MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL.

