



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL

**PRONOSTICO Y ANALISIS DE DEMANDA DE LA SALA DE URGENCIA  
DEL HOSPITAL LUIS CALVO MACKENNA Y METODOLOGIA PARA EL  
CALCULO DE RECURSOS CRITICOS**

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN  
INGENIERIA DE NEGOCIOS CON TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

CARLOS ANDRES REVECO DIAZ

**MIEMBROS DE LA COMISION EVALUADORA:**

PROFESOR GUIA  
**SR. OSCAR BARROS VERA**

MIEMBROS DE LA COMISION  
**SR. EDUARDO CONTRERAS VILLABLANCA**  
**SR. RICHARD WEBER HAAS**  
**SR. OSVALDO ARTAZA BARRIOS**

SANTIAGO DE CHILE

2011

# RESUMEN EJECUTIVO

”

Los hospitales públicos atienden sobre el 70% de la población del país, lo que hace sumamente importante para la sociedad mejorar su calidad de atención para prestar un servicio de excelencia. El Hospital Luis Calvo Mackenna (HLCM) es un centro de salud pediátrico que pertenece al Servicio de Salud Metropolitano Oriente; es referente nacional en diferentes patologías y sede del departamento de pediatría y cirugía infantil de la Universidad de Chile. Es un hospital de alta complejidad y auto-gestionado.

Debido a la calidad y excelencia en sus servicios, el HLCM atiende en sus dependencias una gran cantidad de pacientes, especialmente en el área de urgencia. Lo anterior ocasiona un alto grado de saturación en el sistema, lo que trae como consecuencia altos niveles de estrés y angustia para los pacientes producto de largos tiempos de espera durante el proceso de atención.

Con información histórica, es posible generar un pronóstico y una segmentación de la demanda en urgencias, de acuerdo a la gravedad de los pacientes. Esto permite anticiparse y generar acciones para modificar la demanda o preparar la oferta de atención en el hospital. El proyecto muestra que a través de diversas técnicas de series de tiempo se puede lograr un error promedio del 5% en el pronóstico.

Además, se realizó una prueba conceptual de una metodología para el cálculo de recursos críticos por medio de programación lineal. Esta herramienta permite definir la cantidad óptima de doctores minimizando los tiempos de espera de los pacientes.

Lo anteriormente descrito trae una gran cantidad de beneficios. Por una parte, el hospital tiene una mejora en la gestión y planificación dentro de la unidad de urgencia y, por otro lado, se disminuirá sustancialmente los tiempos de espera de los pacientes.

Es por ello que este proyecto propone un diseño del proceso para el pronóstico y análisis de demanda en la atención de urgencia del HLCM. El diseño de procesos está basado en la metodología propuesta en el Magíster en Ingeniería de Negocios con Tecnologías de la Información (MBE) a partir de Patrones de Procesos de Negocio y va desde la arquitectura empresarial del hospital hasta el diseño de los diagramas de procesos en notación BPMN (Business Process Management Notation), incluidas sus respectivas lógicas de negocio bien definidas hasta llegar al diseño del apoyo computacional.

También es importante resaltar el impacto operacional que tuvo la implementación de este proyecto en la atención de urgencia del HLCM. Ésta logró incorporar un módulo de atención rápida para pacientes sin gravedad vital para aliviar los excesivos tiempos de espera en horas puntas del día, además de advertir al personal de la necesidad de flexibilizar la cantidad de recursos médicos por turnos con el fin de ajustarse de mejor manera a la demanda real del hospital.

*A mis padres por  
su paciencia y apoyo*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres María Eliana Y Juan Miguel, por apoyarme incondicionalmente y brindarme una vida llena de oportunidades, en base a mucho esfuerzo y cariño. A mis dos hermanos, Juan Pablo y Patricia, por su preocupación y compañía en todos estos años.

A mi polola, Patricia, por apoyarme y darme ánimo en los momentos más difíciles. También, por convertirse en mi principal apoyo, amiga en estos últimos años y toda mi alegría.

A Cristian Julio por su apoyo como tutor del proyecto y a Eduardo Ferro, compañero de tesis. Más que compañeros de trabajo se convirtieron en grandes amigos. A mis compañeros de universidad y del MBE por sus consejos y ayuda durante todo este tiempo.

A mis profesores del DII y del DCC de la Universidad de Chile, por contribuir en mi desarrollo personal y profesional. Al Profesor Richard Weber por acercarme al MBE.

Al profesor Oscar Barros, por su tiempo para escucharme, aconsejarme y guiarme en el trabajo realizado y también por creer en mis capacidades para cumplir con las metas propuestas en el proyecto y en los otros proyectos de los alumnos del Magíster. De igual forma, agradezco a la Sra. Ana María Valenzuela, por su simpatía, su excelente disposición a escucharme y aconsejarme en todo momento.

Al personal del Hospital Calvo Mackenna, en especial a su director Osvaldo Artaza y el personal del EPH, Lorena, Ximena y Juan Ricardo, por todo el apoyo a lo largo del desarrollo del proyecto.

A aquellos que contribuyeron en este proyecto e ingratamente olvido mencionar.

# TABLA DE CONTENIDOS

<b>TABLA DE CONTENIDOS</b> .....	ii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	x
1. Introducción .....	12
2. Antecedentes del sector salud .....	15
2.1. Sistema de Salud .....	15
2.2. Servicio de Salud .....	19
2.3. Servicio Metropolitano de Salud Oriente .....	21
2.4. Hospital Luis Calvo Mackenna.....	22
2.4.1. Historia.....	24
2.4.2. Estructura .....	25
2.4.3. Servicios .....	26
3. Contexto del problema .....	27
3.1. Situación Actual del Hospital Luis Calvo Mackenna.....	27
3.2. Los Potenciales Pacientes.....	28
3.3. Proceso de Atención de Pacientes en la Urgencia .....	30
3.4. Motivación del Proyecto.....	33
4. Revisión de la literatura .....	36
4.1. Pronóstico de demanda .....	36
4.2. Asignaciones turnos.....	37
5. Marco Teórico Conceptual .....	39
5.1. Metodología del Proyecto. ....	39
5.2. Arquitectura de procesos .....	42
5.3. Notación de Modelamiento de Procesos de Negocio.....	46
5.3.1. BPMN .....	46
5.4. Minería de Datos.....	49
5.4.1. Proceso KDD .....	50
5.4.2. Modelos de Minería de Datos.....	52
5.4.3. Generalización del modelo .....	52
5.4.4. Supervisión del entrenamiento .....	52
5.4.5. Técnicas comunes en Data Mining .....	54
5.4.6. Regresión .....	55
5.4.7. Comparación de modelos.....	63
5.5. Programación Lineal .....	64
5.5.1. Programación Lineal Entera .....	66
6. Planteamiento Estratégico.....	67
6.1. Eficacia Operacional .....	67
6.2. Estrategias competitivas genéricas .....	67
6.3. Modelo Delta .....	69
6.4. Eficacia Administrativa u Operacional HLCM .....	73
6.5. Balanced Scorecard.....	74
6.5.1. Perspectivas del Balanced Scorecard.....	76
6.6. Balanced Scorecard Hospital Calvo Mackenna.....	77
6.6.1. Definiendo la Visión y la Misión.....	77

6.6.2.	Identificando opciones estratégicas .....	78
6.6.3.	Perspectivas en el HLCM .....	78
6.6.4.	Establecer indicadores .....	82
7.	Modelo de negocio del Hospital Dr. Luis Calvo Mackenna .....	87
7.1.	Creación de Valor al Cliente .....	87
7.2.	Fórmula de Beneficio .....	88
7.3.	Recursos Claves .....	88
7.4.	Procesos Claves .....	88
8.	Arquitectura de Macro-procesos .....	90
8.1.	Líneas de Servicios de Pacientes.....	92
8.1.1.	Análisis y Gestión de Demanda Conjunto .....	92
8.1.2.	Oferta de otros Servicios .....	93
8.1.3.	Atención Urgencia .....	93
8.1.4.	Atención Ambulatoria Electiva.....	94
8.1.5.	Atención Cerrada.....	94
8.2.	Servicios Comunes Propios.....	95
9.	Rediseño de Procesos .....	99
9.1.	Objetivos del Proyecto .....	99
9.2.	Predicción la demanda .....	99
9.3.	Caracterización la demanda .....	99
9.4.	Análisis de Capacidades.....	100
9.5.	Definición de Acciones de Promoción .....	100
9.6.	Planificación de Atención y Servicios .....	100
10.	Rediseño en el Hospital Calvo Mackenna.....	101
10.1.	Diseño de Análisis de Demanda.....	101
10.1.1.	Predicción y Caracterización de Demanda .....	102
10.1.2.	Análisis de Capacidades .....	104
10.1.3.	Definir Acciones de Promoción.....	105
10.1.4.	Planificación de Atención y servicios.....	106
10.2.	Árbol de Procesos.....	107
11.	Diagramas de Pistas BPMN .....	108
11.1.	Generación de Pronósticos.....	108
11.1.1.	Limpieza de Datos .....	108
11.1.2.	Ejecución de Modelos de Pronóstico y Caracterización .....	109
11.2.	Mantenimiento de Modelos en el tiempo .....	110
11.3.	Sub Proceso Análisis de capacidades .....	112
11.3.1.	Modificación de las Capacidades Actuales .....	112
11.3.2.	Producción del Análisis de Capacidades .....	113
12.	Lógicas de negocio complejas .....	116
12.1.	Predicción de demanda .....	116
12.2.	Modelo Mensual.....	117
12.2.1.	Datos.....	117
12.2.2.	Modelo Mensual.....	119
12.2.3.	Resultados .....	121
12.3.	Modelo Semanal .....	125
12.3.1.	Datos.....	125
12.3.2.	Modelos .....	126

12.3.3.	Resultados .....	128
12.4.	Modelo diario.....	129
12.4.1.	Datos.....	129
12.4.2.	Modelo .....	130
12.4.3.	Resultados .....	135
12.5.	Desagregando Modelo Mensual .....	135
12.5.1.	Datos.....	135
12.5.2.	Resultados .....	138
12.6.	Caracterización histórica.....	140
12.6.1.	Resultados .....	142
12.7.	Análisis de demanda.....	146
12.7.1.	Antecedentes .....	146
12.7.2.	Modelo de Programación Lineal .....	148
12.7.3.	Resultados .....	151
12.8.	Mantenimiento de modelos en el tiempo .....	154
12.8.1.	Comparar Modelo VS Realidad .....	155
12.8.2.	Criterio de obsolescencia .....	157
12.8.3.	Recalibrar modelo.....	158
12.8.4.	Desarrollar nuevo modelo.....	160
13.	Diseño de las Aplicaciones Computacionales.....	161
13.1.	Diagramas de Caso de Uso.....	161
13.1.1.	Generación de Pronósticos .....	161
13.1.2.	Subproceso de Análisis de Capacidades .....	163
13.2.	Diagramas de Secuencia de Sistema.....	164
13.2.1.	Limpieza de Datos .....	164
13.2.2.	Ejecución de Modelos de Pronóstico y Caracterización .....	165
13.2.3.	Modificar Capacidades .....	167
13.2.4.	Análisis De Capacidades .....	168
13.3.	Diagrama de Secuencia Extendido .....	169
13.3.1.	Limpieza de Datos .....	169
13.3.2.	Ejecutar Pronóstico y Caracterización.....	171
13.3.3.	Modificar Capacidades .....	173
13.3.4.	Análisis de Capacidades .....	174
13.4.	Diagrama de Clases .....	175
13.4.1.	Limpieza de Datos .....	176
13.4.2.	Generación de Pronóstico .....	177
13.4.3.	Modificar Recursos .....	178
13.4.4.	Análisis de Capacidades .....	179
13.5.	Diagrama de Paquetes .....	180
13.6.	Diagrama de datos.....	182
14.	Construcción del Piloto.....	184
14.1.	Desarrollo de la Aplicación Piloto .....	184
14.2.	Construcción del Prototipo para Pronóstico de demanda .....	184
14.3.	Programación del Prototipo .....	184
14.4.	Pantallas del Prototipo .....	185
14.4.1.	Pantalla de Inicio de Sesión .....	185
14.4.2.	Pantalla de Inicio .....	186
14.4.3.	Módulo de Predicción de demanda .....	187
15.	Gestión del Cambio .....	192
15.1.	Contexto Organizacional.....	192
15.2.	Desafíos para la Gestión del Cambio .....	192
15.3.	Estrategia para Gestión de Cambio.....	193

15.3.1.	Sentido de Urgencia .....	193
15.3.2.	Gestión del Poder .....	194
15.3.3.	Definición de Coalición Conductora.....	196
15.3.4.	Gestión de Narrativas .....	197
15.3.5.	Observando lo que se conserva .....	198
15.3.6.	Estrategia Comunicacional.....	199
15.3.7.	Evaluación y Cierre del Proceso de Cambio .....	200
16.	Resultados de la implementación.....	202
16.1.	Experiencia en la implementación .....	202
16.2.	Campaña de invierno 2010.....	203
16.3.	Ideas de cambio a mediano plazo .....	203
16.4.	Conclusión .....	204
17.	Análisis Económico.....	205
17.1.	Medición de Beneficios .....	205
17.2.	Medición de Costos .....	206
17.3.	Construcción del Flujo de Caja .....	209
17.3.1.	Tasa social de descuento .....	209
17.3.2.	Disminución del Tiempo de Espera .....	210
17.4.	Análisis de Sensibilidad .....	211
17.5.	Análisis por Simulación .....	212
17.5.1.	Resultados Escenario correlación -0,5 .....	214
17.5.2.	Resultados Escenario correlación -0,25 .....	215
17.5.3.	Conclusiones de la Simulación .....	217
18.	Framework.....	218
18.1.	Alcance del <i>Framework</i> .....	220
18.2.	Definición del dominio.....	220
18.3.	Lógica de Negocios Genérica.....	221
18.3.1.	Recolección de datos y factores relevantes .....	222
18.3.2.	Limpieza de datos y normalización.....	224
18.3.3.	Construcción del modelo de predicción.....	224
18.3.4.	Categorización .....	228
18.4.	Diseño del <i>Framework</i> .....	228
18.5.	Beneficios del Framework.....	230
19.	Conclusiones .....	232
19.1.	Ingeniería de Negocios .....	232
19.2.	Proceso de Predicción de demanda.....	233
19.2.1.	Modelos Mensuales.....	233
19.2.2.	Modelos Semanales .....	233
19.2.3.	Modelos Diarios .....	234
19.2.4.	Segmentación .....	234
19.3.	Análisis de capacidades .....	235
19.4.	Gestión del cambio .....	235
19.5.	Trabajo Futuro .....	236
20.	Bibliografía.....	237
21.	Anexos .....	244
21.1.	Anexo I - Servicios de Salud de Chile .....	244
21.2.	Anexo II - Red Centros de Salud Servicio Metropolitano Oriente .....	245
21.3.	Anexo III - Cartera de servicios Hospital Luis Calvo Mackenna.....	246
21.4.	Anexo IV - Notación Extendida BPMN .....	250



21.5.	Anexo V - Plataforma JEE .....	257
21.6.	Anexo VI - Desarrollo J2EE con Frameworks .....	258
21.6.1.	Modelo Vista Controlador .....	258
21.6.2.	Struts.....	260
21.7.	Anexo VII – Evaluación del Proyecto para el proyecto piloto .....	262
21.8.	Construcción del Flujo de Caja .....	264
21.9.	Análisis de Sensibilidad .....	265
21.10.	Anexo VIII – Implementación algoritmo de análisis de demanda en ZIMPL ....	267

# ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Detalle del sistema de salud.....	16
Ilustración 2: Porcentaje de Atención de la Población (elaboración propia).....	16
Ilustración 3: Organigrama del Ministerio de Salud (elaboración propia).....	18
Ilustración 4: División del servicio de salud (elaboración propia).....	19
Ilustración 5: Hospital Luis Calvo Mackenna dentro del SSMO (Servicio Salud Metropolitano Oriente, 2010).....	23
Ilustración 6: Dotación HLCM (Hospital Luis Calvo Mackenna, 2010).....	24
Ilustración 7: Organigrama HLCM.....	26
Ilustración 8 Clasificación de Pacientes.....	27
Ilustración 9: Número de atenciones en urgencia al año en el Hospital Calvo Mackenna.....	30
Ilustración 10: Representación gráfica de las diferentes categorías.....	31
Ilustración 11: Sistema de Atención de Urgencia.....	33
Ilustración 12: Clasificación de Reclamos en el SSMO (Departamento de Planificación y Desarrollo de la Red Asistencial, PLADE, 2008).....	34
Ilustración 13: Relación entre las diferentes quejas de los usuarios.....	34
Ilustración 14: Metodología Ingeniería de Negocios (Barros, Ingeniería de Negocios, 2009).....	42
Ilustración 15: Patrones de Macroprocesos (Barros, Ingeniería de Negocios, 2010).....	44
Ilustración 16: Patrones de arquitectura de procesos.....	45
Ilustración 17: Árbol de patrones de procesos de negocio (Barros, 2006).....	45
Ilustración 18: Figura BPMN basado en (White, 2004).....	47
Ilustración 19: proceso KDD (Fayyad, Piatetsky-Shapiro, & Smyth, 1996).....	50
Ilustración 20: proceso KDD basado en (Fayyad, Piatetsky-Shapiro, & Smyth, 1996).....	52
Ilustración 21: Comparación Modelos Supervisado v/s No Supervisados.....	53
Ilustración 22: Clasificación Técnicas.....	54
Ilustración 23: Detalles de una neurona.....	58
Ilustración 24: Representación grafica función Sigmoidal.....	59
Ilustración 25: Ejemplo de Hiperplano de SVM.....	59
Ilustración 26: Support vector regression con función de perdida $\epsilon$ y variables de holgura $\xi$ .....	62
Ilustración 27: Región Factible Programación entera.....	65
Ilustración 28: Estrategias de Hax (Hax, 2010).....	69
Ilustración 29: Estrategia de Mejor Producto y sus Competencias necesarias (Hax, 2010).....	70
Ilustración 30: Estrategia Solución Total al Cliente y sus Competencias (Hax, 2010).....	71
Ilustración 31: Estrategia Lock-in Sistémico y sus Competencias (Hax, 2010).....	71

Ilustración 32: Identificando las competencias del negocio – Framework sobre las ocho posiciones estratégicas (Hax, 2010) .....	72
Ilustración 33: Modelo Delta adaptado a Organizaciones sin Fines de Lucro (Hax, 2010) .....	73
Ilustración 34: Diagrama Creación Balance Scorecard .....	75
Ilustración 35: Relación de las cuatro perspectivas .....	80
Ilustración 36: Mapa estratégico Hospital Luis Calvo Mackenna.....	82
Ilustración 37: Modelo de negocio HLCM .....	89
Ilustración 38: Arquitectura de Macro-procesos (Barros & Julio, 2010).....	90
Ilustración 39: Línea de servicios al paciente (Barros & Julio, Application of Enterprise and Process Architecture patterns in Hospitals, 2010) .....	92
Ilustración 40: Servicios comunes propios (Barros & Julio, Application of Enterprise and Process Architecture patterns in Hospitals, 2010) .....	97
Ilustración 41: Análisis y gestión de demanda conjunto. ....	102
Ilustración 42: Predicción y caracterización de demanda .....	103
Ilustración 43: Análisis de Capacidades .....	104
Ilustración 44: Definir acciones de promoción. ....	105
Ilustración 45: Planificación de Atenciones y Servicios .....	106
Ilustración 46: Árbol de Procesos.....	107
Ilustración 47: Limpieza de Datos. ....	108
Ilustración 48: Pronóstico y caracterización de la demanda. ....	110
Ilustración 49: Mantenimiento de modelos en el tiempo .....	111
Ilustración 50: Administración de recursos actuales .....	112
Ilustración 51: Análisis de capacidades .....	114
Ilustración 52: Gráfico de demanda mensual en urgencia.....	118
Ilustración 53: Gráfico de demanda mensual en pediatría .....	119
Ilustración 54: Gráfico de demanda mensual en traumatología .....	119
Ilustración 55: Error absoluto porcentual de la media (MAPE) para los distintos tipo de modelo mensual .....	122
Ilustración 56: Comparación Resultado Real Vs Pronóstico en pediatría .....	123
Ilustración 57: Comparación Resultado Real Vs Pronóstico en traumatología .....	124
Ilustración 58: Gráfico de demanda semanal en pediatría .....	125
Ilustración 59: Gráfico de demanda semanal en traumatología .....	126
Ilustración 60: Demanda Diaria pediatría año 2008.....	129
Ilustración 61: Demanda Diaria traumatología año 2008.....	130
Ilustración 62: Distribución horaria de atención .....	137
Ilustración 63: Caracterización de pacientes por gravedad .....	141
Ilustración 64: Distribución de categorías por mes .....	142

Ilustración 65: Médicos Pediatras propuestos por el modelo vs actuales .....	152
Ilustración 66: Médicos Traumatólogos propuestos por el modelo vs actuales .....	152
Ilustración 67: Total de Turnos a la semana .....	153
Ilustración 68: Total de Turnos a la semana en pediatría .....	153
Ilustración 69: Total de Turnos a la semana en traumatología y Cirugía .....	154
Ilustración 70: Casos de Uso - Limpiar de Datos.....	162
Ilustración 71: Casos de Uso - Ejecución de Modelos de Pronóstico y Caracterización.....	162
Ilustración 72: Casos de Uso – Modificar de Capacidades .....	163
Ilustración 73: Casos de Uso – Análisis de Capacidades.....	164
Ilustración 74: Diagrama de Secuencia - Limpiar Datos.....	165
Ilustración 75: Diagrama de Secuencia - Generar Pronóstico.....	166
Ilustración 76: Diagrama de Secuencia - Modificar Capacidades .....	167
Ilustración 77: Diagrama de Secuencia - Análisis De Capacidades .....	168
Ilustración 78: Diagrama extendido - limpiar de datos .....	170
Ilustración 79: Diagrama extendido - Generación de Pronostico.....	172
Ilustración 80: Diagrama extendido - Modificar Capacidades.....	174
Ilustración 81: Diagrama de Secuencia Extendido - Análisis de capacidades .....	175
Ilustración 82: Diagrama de clases - Limpieza de datos .....	176
Ilustración 83: Diagrama de Clases - Generación de Pronostico .....	178
Ilustración 84: Diagrama de clases - Modificar de capacidades.....	179
Ilustración 85: Diagrama de clases - Análisis de Capacidades .....	180
Ilustración 86: Diagrama de paquetes .....	181
Ilustración 87: Modelo Entidad Relación - Modelo de datos.....	183
Ilustración 88: Página de inicio de sesión .....	186
Ilustración 89: Página de Inicio .....	187
Ilustración 90: Ver Datos de la demanda histórica.....	188
Ilustración 91: Modificar Demanda Histórica.....	189
Ilustración 92: Cálculo de nuevos pronósticos .....	190
Ilustración 93: Ver Desempeño box Medicina.....	191
Ilustración 94: Desempeño Box Quirúrgico.....	191
Ilustración 95: Noticia relevante sobre atención en urgencia .....	193
Ilustración 96: Clasificación de Reclamos en el SSMO (Departamento de Planificación y Desarrollo de la Red Asistencial, PLADE, 2008).....	194
Ilustración 97: Análisis de Sensibilidad .....	211
Ilustración 98: Distribución probabilística de la disminución del tiempo de espera .....	212
Ilustración 99: Distribución probabilística de la disminución de pacientes LWBS .....	213
Ilustración 100: Correlación 0,5 positiva de las variables tiempo de espera vs. Pacientes LWBS	213

Ilustración 101: Correlación 0,25 positiva de las variables tiempo de espera vs. Pacientes LWBS .....	214
Ilustración 102: Análisis de Sensibilidad – Escenario 1 .....	214
Ilustración 103: Frecuencia del VAN – Escenario 1 .....	215
Ilustración 104: Análisis de Sensibilidad – Escenario 2 .....	216
Ilustración 105: Frecuencia del VAN – Escenario 2 .....	216
Ilustración 106: Diagrama de flujo para utilización de patrones y framework .....	219
Ilustración 107: Dominio del Framework .....	221
Ilustración 108: Abstracción empresa de servicios .....	222
Ilustración 109: Árbol de decisión para selección de método de pronóstico (Armstrong S. , 2010) .....	225
Ilustración 110: Clases de control .....	229
Ilustración 111: Clases de Entidades .....	230
Ilustración 112: Modelo Vista Controlador .....	260
Ilustración 113: Interacciones de componentes en Struts .....	261
Ilustración 114: Análisis de Sensibilidad .....	266

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Distribución según sistema de salud en base a (MIDEPLAN, 2006) .....	15
Tabla 2: Establecimientos de Urgencia en el SSMO (Servicio Salud Metropolitano Oriente, 2010) .....	22
Tabla 3: Población estimada por edad y sexo, Servicio de Salud Metropolitano Oriente 2007 (Departamento de Planificación y Desarrollo de la Red Asistencial, PLADE, 2008) .....	29
Tabla 4: Consultas Médicas en Atención Primaria, Especialidades y de Urgencia según sexo. SSMO, RM y País año 2007 (Departamento de Planificación y Desarrollo de la Red Asistencial, PLADE, 2008) .....	29
Tabla 5: Elementos BPMN fuente adaptado de (BizAgi, 2010) .....	47
Tabla 6: Eventos básicos BPMN .....	48
Tabla 7: Actividades Básicas BPMN .....	48
Tabla 8: Decisiones Básicas BPMN .....	49
Tabla 9: Funciones Kernel comunes .....	62
Tabla 10: Indicadores de comparación de Pronósticos .....	64
Tabla 11: Generalización de la Programación Lineal .....	65
Tabla 12: Correlación de variables en pediatría .....	121
Tabla 13: Correlación de variables en traumatología .....	121
Tabla 14: Resultados Box pediatría .....	123
Tabla 15: Resultados Box traumatología .....	124

Tabla 16: Periodo de clases definido por el Ministerio de Educación.....	126
Tabla 17: Correlación en pediatría .....	127
Tabla 18: Correlación en traumatología .....	128
Tabla 19: Error absoluto porcentual de la media (MAPE) de modelos semanales .....	128
Tabla 20: Índice contaminación y su correspondiente categorización en la Región Metropolitana	131
Tabla 21: Correlación pediatría .....	133
Tabla 22: Correlación traumatología .....	134
Tabla 23: Error Absoluto Porcentual de la Media (MAPE) de modelos diarios .....	135
Tabla 24: Porcentaje de Atenciones por día en pediatría .....	136
Tabla 25: Porcentaje de Atenciones por día en traumatología .....	136
Tabla 26: Distribución horaria de atención.....	138
Tabla 27: Errores Predicción por día en traumatología, Septiembre del 2008.....	138
Tabla 28: Errores Predicción por día en pediatría, Septiembre del 2008.....	138
Tabla 29: Resultados Distribución Horaria en Box pediatría Septiembre 2008.....	139
Tabla 30: Resultados distribución horaria box traumatología septiembre 2008 .....	140
Tabla 31: Distribución de categorías por mes.....	142
Tabla 32: Errores categorización C1 en pediatría.....	143
Tabla 33: Errores categorización C2 en pediatría.....	143
Tabla 34: Errores categorización C3 en pediatría.....	144
Tabla 35: Errores categorización C4 en pediatría.....	144
Tabla 36: Errores categorización C1 en traumatología .....	145
Tabla 37: Errores categorización C2 en traumatología .....	145
Tabla 38: Errores categorización C3 en traumatología .....	145
Tabla 39: Errores categorización C4 en traumatología .....	146
Tabla 40: Tabla distribución normal con media cero .....	157
Tabla 41: Mapa de poder .....	195
Tabla 42: Coalición Conductora .....	196
Tabla 43: Tabla de narrativas formuladas.....	198
Tabla 44: Panel de control de utilización del proyecto.....	201
Tabla 45: Resumen Costo de desarrollo.....	209
Tabla 46: Resumen Costos Anuales después de la Implementación.....	209
Tabla 47: Flujo de Caja .....	210
Tabla 48: Resumen Costo de Implementación .....	264
Tabla 49: Resumen Costos Anuales después de la Implementación.....	264
Tabla 50: Flujo de Caja .....	265

# 1. Introducción

El presente trabajo propone un rediseño de procesos para el pronóstico y análisis de demanda en la atención de urgencia del Hospital Luis Calvo Mackenna, que abarca todo un estudio del comportamiento de la demanda histórica hasta predicciones a nivel mensual con doce meses de anticipación. También se propone una metodología para asignar recursos críticos como son los médicos tanto a nivel táctico-estratégico como a nivel operacional

El sistema de salud en Chile se considera como un sistema mixto, en donde más del 70% de la población es atendida por el servicio de salud público. Dicho sistema se encuentra dividido en diferentes servicios de salud por espacio territorial y cada uno de éstos tiene a cargo distintos hospitales. En el proyecto se abarca en detalle el Servicio de Salud Metropolitano Oriente y, dentro de él, el Hospital Luis Calvo Mackenna.

Este documento, comenzará describiendo el sistema de salud en Chile pasando por el servicio de Salud Metropolitano Oriente, hasta llegar a una descripción del Hospital Luis Calvo Mackenna

Después, se contextualizará el problema, describiendo el modelo de atención de urgencia del Hospital Luis Calvo Mackenna, haciendo un pequeño análisis de los potenciales pacientes a atender y terminando con la descripción de las razones que motivaron el desarrollo del proyecto.

Luego se realizará una revisión de la literatura que abarcan posibles soluciones y distintas formas de abordar este problema.

Posteriormente, se explicará toda la teoría que da sustento al desarrollo del proyecto comenzado con una breve descripción de la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto, que representa el pilar fundamental dentro de éste, y que corresponde a la metodología planteada por Master Business Engineer (MBE).

Conjuntamente se mostrarán conceptos de Business Intelligence y de programación lineal.

En el siguiente capítulo se expondrá el planteamiento estratégico del hospital utilizando los conceptos propuestos por Michael Porter y Arnoldo Hax. Además se ocupará un Balanced Scorecard y un mapa estratégico para plasmar estas estrategias en acciones definidas y medibles.

Con posterioridad, se expondrá el modelo de negocios en conjunto con la propuesta de valor que se le quiere dar al paciente.

En los capítulos siguientes, se detallará el modelamiento de procesos en el hospital mostrando desde su arquitectura empresarial hasta el levantamiento de los procesos en notación BPMN (Business Process Modeling Notation), se enfatizarán los apoyos computacionales requeridos para poder implementar el proyecto utilizando la notación UML (Unified Modeling Language) y las lógicas de negocio asociadas a cada diagrama BPMN llegando, finalmente, al desglose de los diagramas de clases de la aplicación y su modelo de datos.

Luego se mostrará todo el desarrollo de la lógica compleja del proyecto abarcando distintos modelos predictivos como las diversas técnicas utilizadas, junto con los resultados y la calidad de éstos. Así mismo, se explicitarán el modelo matemático de programación lineal y la metodología que permitiría generar una asignación de recursos críticos a nivel mensual.

Posteriormente, se describirá cómo se construyó la aplicación piloto y se mostrarán las pantallas finales de interacción con el usuario para cada uno de los módulos implementados.

A continuación, se mostrará el plan de implementación organizacional con el fin de lograr que el proyecto forme parte del funcionamiento rutinario del hospital.



Posteriormente se detallaran los costos y beneficios del proyecto y se justificará económicamente la viabilidad del mismo a través de un flujo de caja.

Consecutivamente, se describirá el desarrollo y la generalización de la experiencia a través de un Framework, que permitirá extender el problema de análisis de demanda a cualquier empresa que la requiera.

El último capítulo lo constituyen las conclusiones de esta experiencia y los posibles trabajos futuros que se pueden hacer para continuar este trabajo

## 2. Antecedentes del sector salud

### 2.1. Sistema de Salud

El sistema de salud chileno es de carácter mixto, es decir, contempla la participación de entidades públicas y privadas. Según los resultados de la encuesta CASEN (MIDEPLAN, 2006) la distribución de la población para el año 2006, según el uso de los diferentes subsistemas es la que muestra la Tabla 1

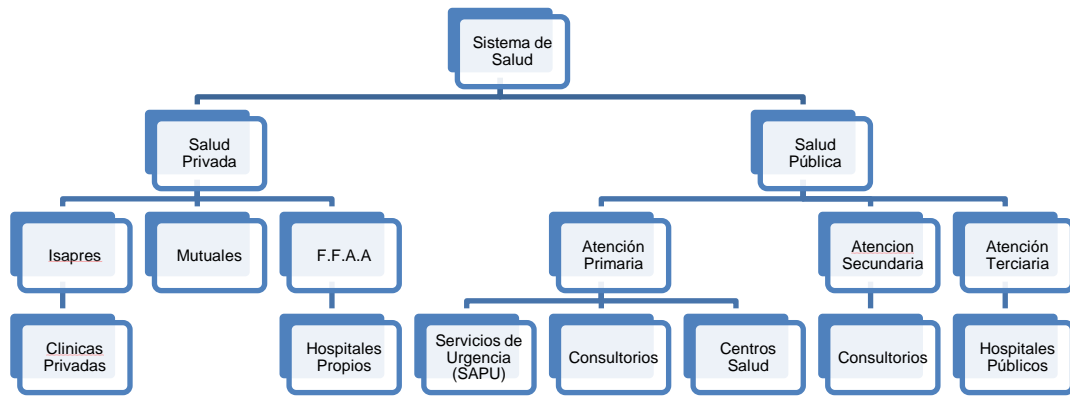
	<b>Usuarios</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>FONASA</b>	12.413.101	76,85%
<b>F.F.A.A</b>	435.694	2,70%
<b>ISAPRE</b>	2.177.258	13,48%
<b>Ninguno</b>	822.323	5,09%
<b>Otros/No sabe</b>	303.977	1,88%
<b>Total</b>	<b>16.152.353</b>	<b>100,00%</b>

**Tabla 1: Distribución según sistema de salud en base a (MIDEPLAN, 2006)**

De la separación anterior se puede subdividir el sistema de salud en dos grandes grupos, los cuales son: Sistema Público y Sistema Privado. El subsistema privado agrupa a las ISAPRE, a las Fuerzas Armadas y de Orden y a otras instituciones como, por ejemplo, mutuales de seguridad. Ellas financian clínicas privadas o poseen hospitales propios.

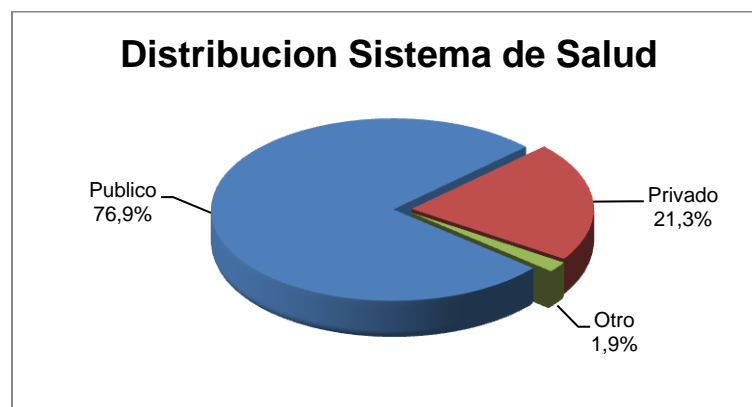
Por su parte el sistema público agrupado en FONASA se subdivide en tres niveles según la complejidad de la atención brindada: Primaria, Secundaria y Terciaria.

Lo anteriormente descrito se puede resumir en la Ilustración 1



**Ilustración 1: Detalle del sistema de salud**

El subsistema público es normado y dirigido por el Ministerio de Salud, y es responsable de desarrollar actividades de fomento y protección de la salud para toda la población y de atender las necesidades de recuperación y rehabilitación de los beneficiarios de la Ley 18.469. Este grupo está compuesto por trabajadores activos, ya sean dependientes o independientes que cotizan en el Fondo Nacional de Salud (FONASA), incluyendo sus cargas familiares, y también por personas indigentes o carentes de recursos, no cotizantes. Este Grupo representa a un 76,85% de la población chilena lo cual se puede ver en detalle en la Ilustración 2



**Ilustración 2: Porcentaje de Atención de la Población (elaboración propia)**

Este trabajo se centrará principalmente en el área de la salud pública por lo que resulta de suma importancia conocer en detalle cuál es el rol y las funciones del Ministerio de Salud. Este está compuesto por las siguientes ramas:

- Fondo Nacional de Salud (FONASA):

Es el organismo público encargado de otorgar cobertura de atención, tanto a las personas que cotizan el 7% de sus ingresos mensuales para la salud en FONASA, como a aquellos que, por carecer de recursos propios, financia el Estado a través de un aporte fiscal directo. Además, tiene como función asegurar a sus beneficiarios el acceso a los servicios disponibles en el ámbito de la protección social en salud, con atención de excelencia.

- Instituto de Salud Pública (ISP):

Es un servicio público, cuya misión es contribuir al mejoramiento de la salud en Chile garantizando la calidad de bienes y servicios.

- Superintendencia de Salud

La Superintendencia tiene el rol de supervisión y fiscalización de las ISAPRES y de FONASA.

- Sistema Nacional de Servicios de Salud (SSNS)

El Sistema está conformado por los organismos públicos y estatales, que son el subsistema público de salud. De él dependen todos los servicios de salud. El detalle de todos los servicios de salud de Chile se muestra en el Anexo I.

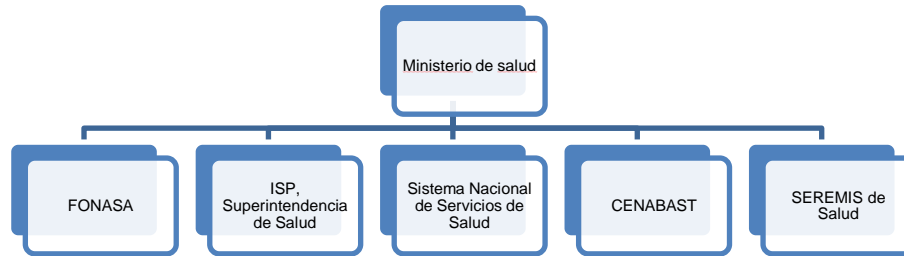
- Central Nacional de Abastecimiento (CENABAST)

La Central Nacional de Abastecimiento es el servicio público de Chile encargado de las adquisiciones y distribución de los fármacos, insumos médicos y bienes del sistema de salud público.

- Secretaría Regional Ministerial de Salud (SEREMI de Salud)

A cargo de la ejecución y coordinación de las políticas, planes, presupuestos y proyectos de desarrollo regional referentes a la salud y otras materias que sean competencia del Gobierno Regional.

Lo anterior se sintetiza en el siguiente organigrama del Ministerio de Salud en la Ilustración 3



**Ilustración 3: Organigrama del Ministerio de Salud (elaboración propia)**

El Ministerio de Salud lleva a cabo tres funciones básicas a través de estas distintas instituciones:

- Función de fiscalización, normativa, de regulación, supervisión y control.
- Administración del Financiamiento.
- Entrega de Prestaciones de Salud.

Es importante conocer cuál es la misión y visión de este ente gubernamental para tomarla en consideración posteriormente para la definición del planteamiento estratégico del hospital y su relación con el proyecto. La misión que el Ministerio de Salud propone es la siguiente:

“La misión institucional que el Ministerio de Salud se ha dado para este período busca contribuir a elevar el nivel de salud de la población; desarrollar armónicamente los sistemas de salud, centrados en las personas; fortalecer el control de los factores que puedan afectar la salud y reforzar la gestión de la red nacional de atención. Todo ello para acoger oportunamente las necesidades de las personas, familias y comunidades, con la obligación de rendir cuentas a la ciudadanía y promover la participación de las mismas en el ejercicio de sus derechos y sus deberes.” (Ministerio de Salud, 2010)

Además de misión del Ministerio de Salud es importante destacar la meta que persigue esta institución plasmada en la visión que proponen:

“La visión del Ministerio de Salud es la de que las personas, familias y comunidades tendrán una vida más saludable, participarán activamente en la construcción de estilos de vida que favorezcan su desarrollo individual y colectivo. Vivirán en ambientes sanitariamente protegidos. Tendrán acceso a una atención en salud oportuna, acogedora, equitativa, integral y de calidad, con lo cual se sentirán más seguras y protegidas.” (Ministerio de Salud, 2010)

## 2.2. Servicio de Salud

La Subsecretaría de Redes Asistenciales, dependiente del Ministerio de Salud, tiene como misión regular y velar por el funcionamiento de las redes de salud a través del diseño de políticas para su coordinación y articulación, que permitan satisfacer las necesidades de salud de la población usuaria, en el marco de los objetivos sanitarios, con equidad, respeto de los derechos y dignidad de las personas. En total, hay 26 diferentes servicios de salud que componen la red asistencial del país.

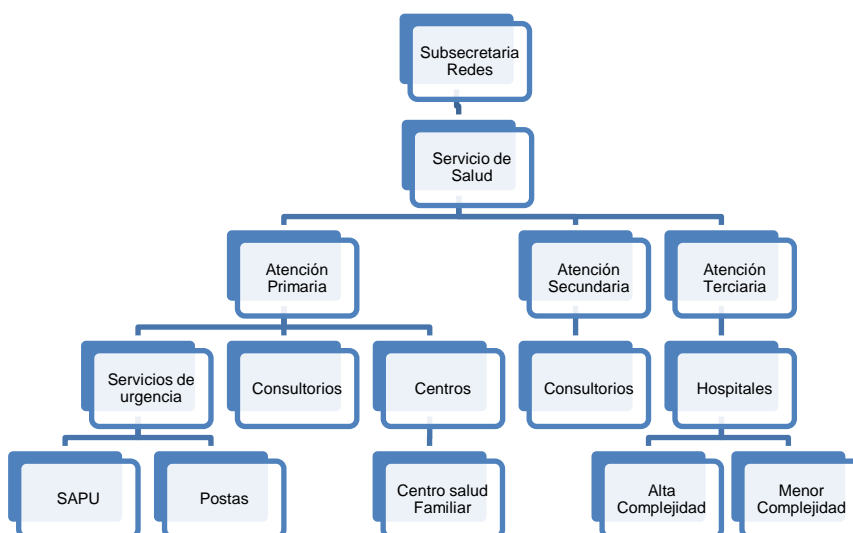


Ilustración 4: División del servicio de salud (elaboración propia)

A su vez, cada servicio de salud está dividido en tres tipos según la necesidad de atención brindada tal como se puede apreciar en la Ilustración 4 y que será detallada a continuación.

**Atención Primaria:** Es la atención más básica y preventiva que ofrece el servicio público, con una amplia cobertura. Pertenecen a este nivel los centros de salud familiar (CESFAM), consultorios, centros comunitarios de salud familiar o mini consultorios y postas rurales y Servicio de Atención Primaria de Urgencia (SAPU). En total hay 1857 <sup>1</sup> Centros en el País divididos en:

- 1168 Postas de salud rurales.
- 214 Consultorios Generales Urbanos.
- 142 Consultorios Generales rurales.
- 156 Consultorio de atención primaria en salud.
- 144 Centros de salud familiar.
- 115 Consultorios adosados de atención primaria.
- 44 Consultorios de salud mental.

**Atención Secundaria:** Pertenecen a este nivel los establecimientos que brindan atención ambulatoria como los Centros de Referencia de Salud (CRS), Centros de Diagnóstico y Tratamiento (CDT) y otros Centros de Especialidades. Su cobertura es más reducida que la atención primaria. Cuenta con 68 centros en el país divididos en:

- 4 Centros de Diagnóstico y Tratamiento.
- 6 Centros de Referencia de Salud.

---

<sup>1</sup> En base a la información disponible en el departamento de estadística e información de salud (DEIS) <http://intradeis.minsal.cl/sies/ViewEstable.aspx>

- 58 Consultorios adosados de especialidades.

**Atención Terciaria:** Está constituida por los establecimientos hospitalarios de mayor complejidad pero con una cobertura reducida. En el país los hospitales se dividen de la siguiente manera

- 22 Hospitales de Alta complejidad tipo 1
- 34 Hospitales de Media-Alta complejidad tipo 2
- 25 Hospitales Media complejidad tipo 3
- 100 Hospitales Baja complejidad tipo 4

Este trabajo fue realizado en el hospital Calvo Mackenna que se encuentra suscrito al Servicio Metropolitano de Salud Oriente; una lista detalla de todos los servicios de salud se puede ver en el Anexo I

### **2.3. Servicio Metropolitano de Salud Oriente**

El Servicio de Salud Metropolitano Oriente (SSMO) se constituyó oficialmente mediante Decreto Supremo N° 02 del 03 de Enero de 1985, del Ministerio de Salud de la República de Chile, el que establece su territorio coincidentemente con las comunas de Providencia, Ñuñoa, Macul, Peñalolén, La Reina, Las Condes, Vitacura y Lo Barnechea. Además, desde mayo de 2007, incluye a la Provincia de Isla de Pascua en su red asistencial. En este territorio existe, proyectada al año 2008, una población total que asciende a 1.183.256 personas<sup>2</sup>

El SSMO Oriente es la institución que coordina una de las redes sanitarias más completas del sistema público chileno, ya que abarca todo el ciclo vital de sus usuarios, desde el nacimiento a su vejez; ofrece soluciones integrales de atención y cuenta con una amplia gama de servicios de distintos niveles de complejidad.

---

<sup>2</sup> Fuente: INE



Todo esto con el fin de garantizar una asistencia oportuna, integral, continua, eficaz y amable. (SSMO, 2010)

Dentro el SSMO existen 26 diferentes centros de salud, incluidos hospitales, institutos y centros familiares los que se muestran en el Anexo II. En la Tabla 2 se puede ver la red de urgencia del servicio de salud Metropolitano Oriente

**RED DE URGENCIA  
SERVICIO DE SALUD METROPOLITANO ORIENTE**

ESTABLECIMIENTO	DIRECCIÓN	DIRECTOR //Jefe	TELEFONO	HORARIO ATENCION
HOSPITAL DEL SALVADOR Urgencia	Rancagua 750	Dr. Horacio Díaz Basso	5754096	24 horas
HOSPITAL CALVO MACKENNA Urgencia	Antonio Varas N° 360	Dr. Eduardo Caamaño	575 59 01	24 horas
CENTRO DE URGENCIA Nuiña	Juan Moya 1310 NUNOA	Dr. Cristian Carvacho	5752500	24 horas
SAPU Anibal Ariztía	Avda. La Edcuela 1229	Sra. Graciela Fernández Z.	2128274	24 horas
SAPU Lo Barnechea	Avda. El Rodeo 13533 LO BARNECHEA	Dr. Sergio Aguirre Mercado	7573355	17: 00- 08:00
SAPU Rosita Renard	Las Encinas 2801 NUNOA	Dra. Sepúlveda	5750100	17: 00- 08:00
SAPU Santa Julia	Gregorio de la Fuente 3521 MACUL	Dr. Rubén Espinoza O.	5752216 5752200	L-V 17:00-12:00 S y D 08:00-12:00
SAPU La Faena	Avda. Oriental 7250 PEÑALOLÉN	Dra. Berta Gonzalez	2792769- 2921326	17: 00- 08:00
SAPU San Luis	Los Cerezos 5553 PEÑALOLÉN	Dra. Lucía Salvo V.	5752100	17: 00- 08:00
SAPU Carol Urzúa	Avda. Consistorial 1960 PEÑALOLÉN	Dr. Oscar Carmona	2786175- 2791771	17: 00- 08:00
SAPU Lo Hermida	Santa María 6066 PEÑALOLÉN	Dr. Alvaro Medina C.	5750100	17:00-24:00

**Tabla 2: Establecimientos de Urgencia en el SSMO (Servicio Salud Metropolitano Oriente, 2010)**

Este trabajo se desarrolló en la Sala de Urgencia del Hospital Luis Calvo Mackenna el cual es un hospital de alta complejidad pediátrico y que será detallado a continuación.

## **2.4. Hospital Luis Calvo Mackenna**

El Hospital Dr. Luis Calvo Mackenna, es un centro docente asistencial pediátrico público, fundado el año 1942, que brinda atenciones de consulta de

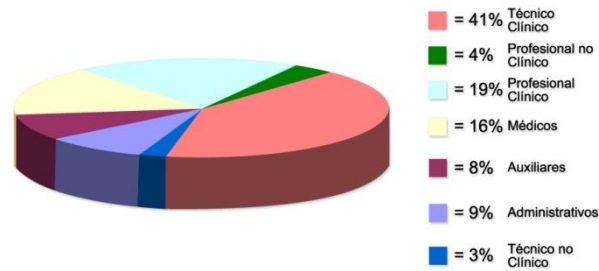
especialidades, de urgencia y de hospitalización quirúrgica y médica para la red oriente y para todo el país en patologías de alta complejidad. El hospital tiene 26 unidades clínicas en atención directa de los pacientes y 13 unidades de apoyo en 19.000 mt<sup>2</sup> construidos. Cuenta con una dotación de 250 camas en trabajo y un alto porcentaje de ellas corresponden a unidades de cuidado intensivo pediátrico, neonatal quirúrgico y cardioquirúrgico.

Es líder en cirugías complejas del recién nacido y de malformaciones congénitas de la infancia, trasplantes de médula ósea y hepáticos, entre otras patologías en las que es centro de referencia nacional. Es sede del Departamento de pediatría y Cirugía Infantil de la Universidad de Chile, y sus ejes como institución son la docencia, la investigación y la asistencia pediátrica con estándares de excelencia (Hospital Luis Calvo Mackenna, 2010).



**Ilustración 5: Hospital Luis Calvo Mackenna dentro del SSMO (Servicio Salud Metropolitano Oriente, 2010)**

Como contexto, es importante conocer la dotación dentro del hospital: cuenta con alrededor de 1000 personas; 35% de de las cuales son profesionales y un 44% son técnicos.



**Ilustración 6: Dotación HLCM (Hospital Luis Calvo Mackenna, 2010)**

Por otra parte cobra especial relevancia conocer la misión y visión del hospital para posteriormente ligar esto con el planteamiento estratégico propuesto más adelante.

La Misión declarada por el hospital es:

*“Dar un servicio pediátrico de excelencia a los niños y niñas beneficiarios del sistema público de salud, siendo hoy posible ofrecer estos servicios al mundo de los privados con humanidad, calidad y excelencia”* (Hospital Luis Calvo Mackenna, 2010)

Asimismo la Visión del hospital es:

*“Aspiramos a convertirnos en un Hospital Pediátrico, docente e investigador de excelencia; al servicio de la vida y abierto a la comunidad. Ello se traduce en nuestro lema:*

*Una gran familia al servicio de los niños y niñas”.* (Hospital Luis Calvo Mackenna, 2010).

### **2.4.1. Historia**

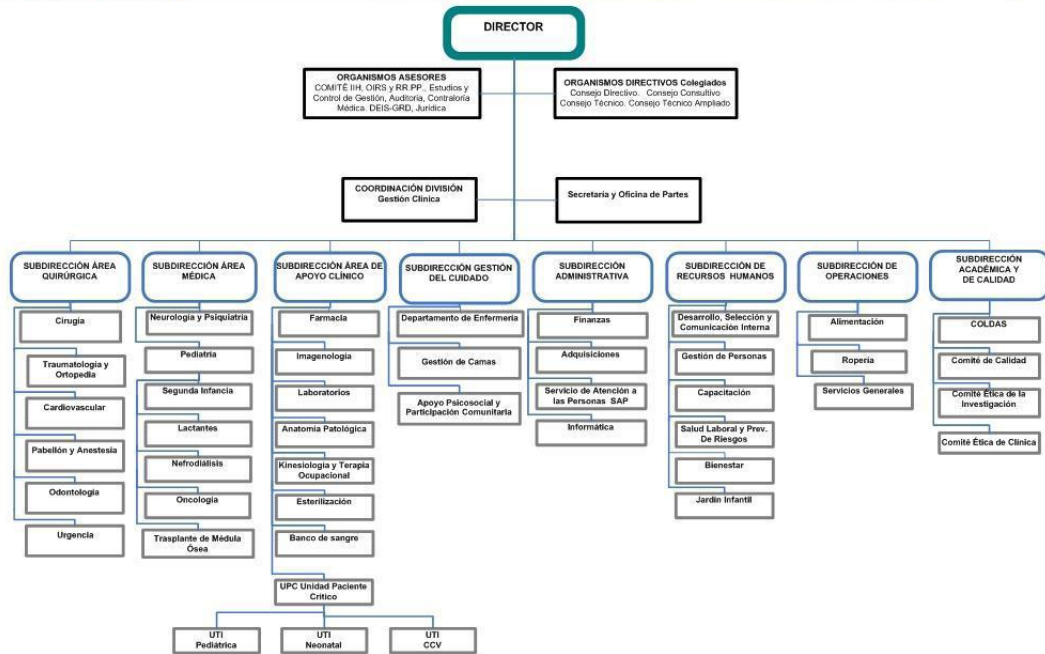
El Hospital Dr. Luis Calvo Mackenna (HLCM) es el Hospital Pediátrico Público de mayor complejidad del país, siendo centro de referencia nacional para la atención de las patologías más graves de la infancia.

Fundado en 1942, el hospital es un centro asistencial pediátrico de nivel terciario, que brinda atención especializada, de urgencia y de hospitalización quirúrgica y médica general. Es un centro de referencia nacional para cirugía cardiovascular, oncología, cirugía neonatal, escoliosis, nefrología y trasplantes. El hospital tiene 240 camas, 95 de ellas para pacientes con trastornos médicos no quirúrgicos, 90 para pacientes de cirugía y 55 para los que necesitan cuidados intensivos e intermedios pediátricos, neonatales y postquirúrgicos.

Anualmente el Hospital realiza más de 15.000 prestaciones anuales en las denominadas patologías complejas. Se realizan alrededor de 220.000 consultas al año, incluidas las consultas de urgencia. Del total de población atendida por el Hospital, un 58% provienen del área geográfica perteneciente al SSMO y el 42% restante lo constituyen pacientes de otros servicios de la Región Metropolitana y del resto del país.(Hospital Luis Calvo Mackenna, 2010)

#### **2.4.2. Estructura**

La estructura organizacional del hospital es la indicada en el siguiente organigrama:



**Ilustración 7: Organigrama HLCM**

Aquí cobra especial relevancia la subdirección área quirúrgica ya que de ella depende el servicio de urgencia que fue donde se realizó este trabajo.

### 2.4.3. Servicios

El Servicio está en condiciones de atender la inmensa mayoría de las afecciones de patología neurológica, psiquiátrica y psicológica de los niños y adolescentes, tanto en sus formas habituales como aquellas que se presentan como complejas.

Entre ellas se destacan: cefaleas, epilepsias, trastornos paroxísticos y del movimiento, encefalitis, demencias, neuromusculares, del sistema nervioso periférico, trastornos de los órganos de los sentidos, traumatismos encefálicos y complicaciones de los trasplantes de médula ósea, renales y hepáticos. Una lista completa de los servicios del hospital se muestra en el Anexo III.

### 3. Contexto del problema

En el presente capítulo se detallará la situación actual del hospital Calvo Mackenna referente al área de urgencias. Se mostrará, además, el universo de potenciales pacientes con su caracterización y el proceso actual de atención.

#### 3.1. Situación Actual del Hospital Luis Calvo Mackenna

El Hospital Luis Calvo Mackenna es un centro de excelencia pediátrica a nivel nacional. Además de esto, el hospital ha llegado a la calidad de auto-gestionado, vale decir, puede administrar sus recursos y gestionar sus propios proyectos directamente y sin pasar por una burocracia adicional con el Ministerio de Salud. Por otra, parte la gestión en los hospitales públicos se está convirtiendo en un punto cada vez más importante, debido a que hay una constante búsqueda de ser cada vez más eficientes en la calidad de atención a los pacientes

Dada la escasez de recursos y el aumento en la cantidad de pacientes, la gestión de demanda se ha convertido en un tema de estudio a nivel mundial. Estos estudios abordan dos tipos de grupos diferentes: electivos y no electivos. Los primeros representan a los pacientes cuyas intervenciones hospitalarias pueden ser programadas con tiempo; la otra clase de pacientes corresponde a aquellos cuyas intervenciones no pueden ser planificadas y, por ende, deben ser ejecutadas de forma urgente. En la Ilustración 8, se muestra un esquema con la clasificación propuesta.

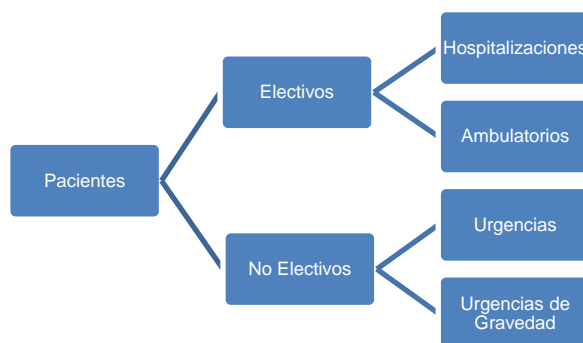


Ilustración 8 Clasificación de Pacientes

Como se puede observar en la ilustración anterior, cada una de las clasificaciones posee, a su vez, dos subdivisiones. En el caso de los pacientes electivos, se establece una diferencia en el tiempo de estancia en el hospital dividiéndolos en: pacientes electivos hospitalizados y pacientes ambulatorios. Los pacientes electivos hospitalizados corresponden a aquellos que deben permanecer al menos una noche en el hospital ocupando un recuso cama y los pacientes ambulatorios son aquellos cuya estancia no supera un día.

En la otra rama de la Ilustración 8, se ven los diferentes tipos de pacientes no electivos, donde la distinción viene dada por el estado de gravedad del paciente, dividiéndolos en pacientes urgentes y pacientes de urgencia de gravedad. Los pacientes urgentes son aquellos que llegan al hospital lo suficientemente estables como para poder esperar un corto período de tiempo para ser atendidos, y los pacientes de urgencia de gravedad son aquellos que deben ser atendidos de forma inmediata dada que corren grave riesgo vital.

De esta clasificación se puede inferir que hay dos tipos de pacientes. Uno corresponde a un grupo de pacientes con una demanda determinística y programada (electivos) y el otro grupo con una demanda estocástica, aleatoria y difícil de anticipar (no electivos).

### **3.2. Los Potenciales Pacientes**

En la zona asignada al Servicio de Salud Metropolitano Oriente, proyectada al año 2007, la población total asciende a 1.180.232 personas, lo que representa el 7,2% de la población total del país. De ese total el 20% de la población total son niños, el 69% adultos y el 11% adultos mayores.

Sexo	Total	Grupo Etáreo					
		0 - 14 años	%	15 - 64 años	%	65 y más	%
Hombres	544.653	120.254	10,19%	377.193	31,96%	47.206	4,00%
Mujeres	635.579	117.398	9,95%	435.046	36,86%	83.135	7,04%
<b>TOTAL</b>	<b>1.180.232</b>	<b>237.652</b>	<b>20,14%</b>	<b>812.239</b>	<b>68,82%</b>	<b>130.341</b>	<b>11,04%</b>

Fuente: INE

**Tabla 3: Población estimada por edad y sexo, Servicio de Salud Metropolitano Oriente 2007 (Departamento de Planificación y Desarrollo de la Red Asistencial, PLADE, 2008)**

Desde una perspectiva general, en el SSMO la población menor de 15 años supera levemente el 20%, lo que representa más de 230.000 niños.

No sólo es importante conocer la cantidad de habitantes en la zona comprendida por servicio, sino también es relevante considerar la cantidad de pacientes que se atienden al año en la sala de urgencia. Este dato, a pesar de no tener distinción de edad, puede aportar como referencia cuántos pacientes son atendidos en el servicio respecto a la Región Metropolitana y el país.

Actividad según sexo	SSMO	Región Metropolitana	País
Consulta APS	720.543	6.068.170	16.369.151
%Hombres	34,16	36,93	37,31
% Mujeres	65,83	63,06	62,68
Consulta Especialidades	490.650	2.856.550	6.678.039
%Hombres	39,38	38,40	38,52
% Mujeres	62,61	61,85	61,47
Consulta Urgencia	691.851	5.940.726	15.881.697
%Hombres	46,18	45,46	45,36
% Mujeres	53,81	54,53	54,60

Fuente: Elaboración en base a datos DEIS MINSAL

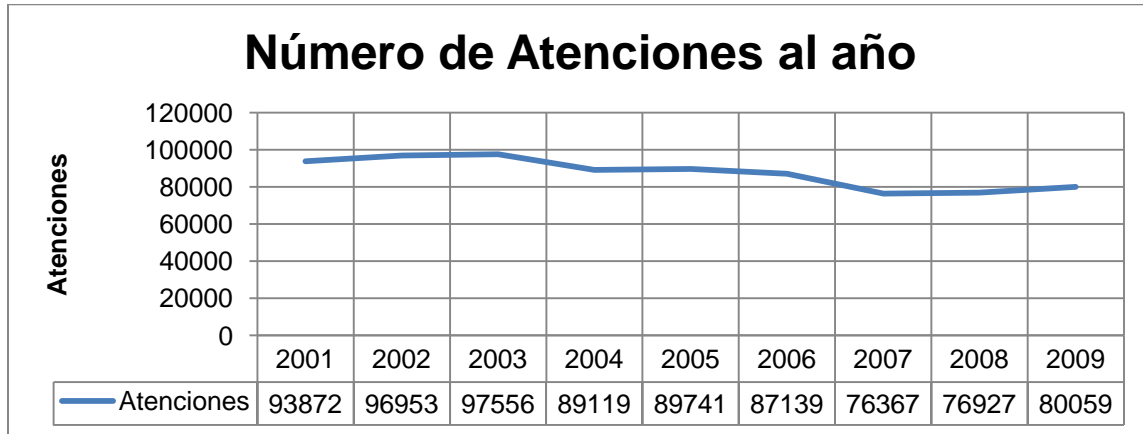
**Tabla 4: Consultas Médicas en Atención Primaria, Especialidades y de Urgencia según sexo. SSMO, RM y País año 2007 (Departamento de Planificación y Desarrollo de la Red Asistencial, PLADE, 2008)**

Si el 20% de las atenciones urgencia corresponden a atención de niños entonces tendríamos cerca de 140.000 atenciones al año sólo en el servicio de Salud Metropolitano Oriente.

En particular, los datos del Hospital Calvo Mackenna muestran que más de la mitad de estos pacientes son atendidos en este hospital. La cantidad de



pacientes atendidos en urgencia tiene una leve tendencia a la baja pero se mantiene por sobre los 75.000 pacientes al año tal como se ve en la Ilustración 9



**Ilustración 9: Número de atenciones en urgencia al año en el Hospital Calvo Mackenna**

### **3.3. Proceso de Atención de Pacientes en la Urgencia**

Es importante conocer el funcionamiento normal de la atención de urgencia ya que gran parte del proyecto se centrará en este servicio. Su flujo normal cuenta con siete pasos:

#### **Ficha**

El paciente requiere atención, por lo que es atendido en admisión donde la secretaria llena una planilla con sus datos y luego debe esperar a ser atendido.

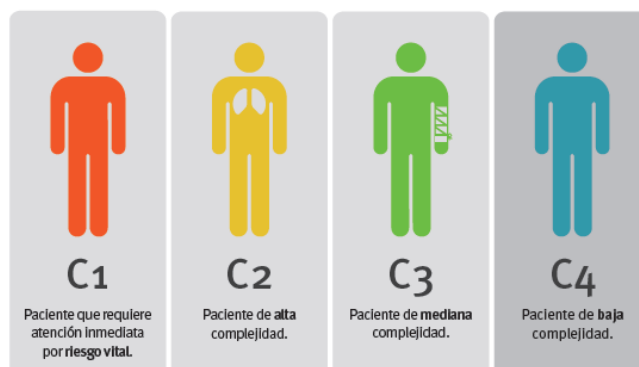
Cabe destacar que los pacientes críticos (C1) pasan directamente a atención y no deben esperar ni la ficha ni la posterior clasificación

#### **Clasificación**

En esta etapa la enfermera realiza un pre diagnóstico a través de exámenes de rutina (temperatura, signos vitales, entre otros), para poder categorizar al paciente. Al finalizar esta etapa, el paciente queda categorizado según su

gravedad. De acuerdo a lo definido por el Ministerio, existen cuatro categorías de pacientes:

- **C1: Paciente Grave:** Atención de emergencia, evaluación y tratamiento inicial de inmediato.
- **C2: Paciente de alta complejidad:** Atención de urgencia, evaluación y tratamiento inicial.
- **C3: Paciente de mediana complejidad:** Atención de urgencia, evaluación y tratamiento inicial.
- **C4: Paciente no urgente:** Atención según disponibilidad de recursos, evaluación y tratamiento.



**Ilustración 10: Representación gráfica de las diferentes categorías**

La urgencia viene condicionada por el tiempo hasta la atención definitiva mientras que la gravedad tiene más que ver con el pronóstico final. Por ejemplo, un cáncer puede ser más grave que una crisis de asma, pero ésta puede ser más urgente que el primero.

### **Espera**

Este paso representa el tiempo en espera que tiene el paciente desde que es categorizado hasta que es llamado por un doctor.

### **Síntomas**

El Médico realiza la consulta de urgencia, para determinar el diagnóstico del paciente y poder conocer qué enfermedad tiene y pueda ser tratado. Al finalizar la consulta el paciente puede requerir exámenes, ser dado de alta o ser hospitalizado.

### **Exámenes**

Una vez realizada la consulta médica el paciente puede requerir exámenes adicionales, tales como: exámenes de laboratorio, imagenología, entre otros; o simplemente ser dado de alta.

Por simplicidad, esta actividad representa el conjunto de exámenes que requiere el paciente y que son tomados por los técnicos paramédicos.

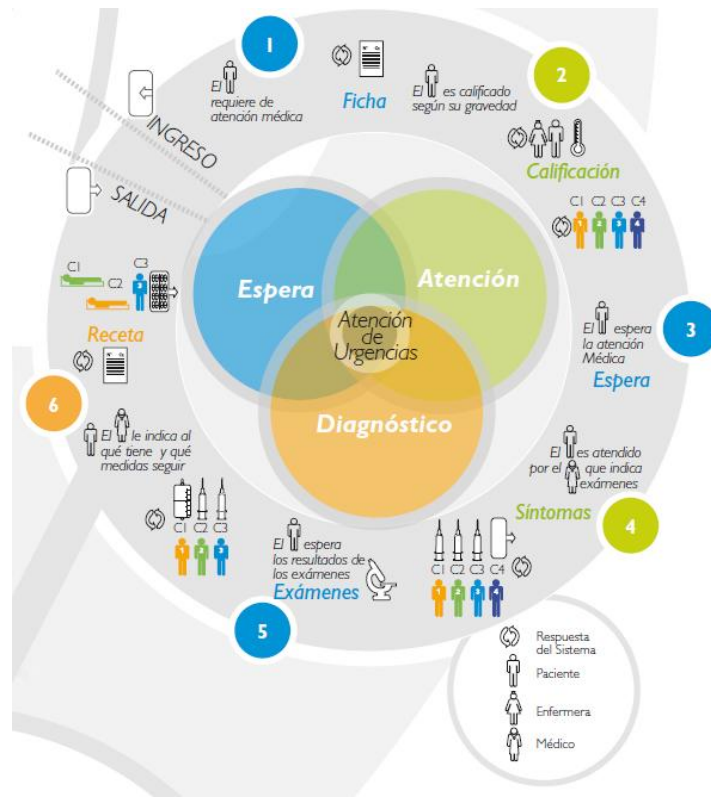
### **Consulta Médica con resultado de exámenes**

Una vez que el paciente vuelve al box de atención con los resultados de los exámenes, el médico tratante le indica al paciente qué enfermedad tiene y cómo debe ser tratada (Receta Médica).

### **Requiere Hospitalización**

Una vez que el paciente es diagnosticado existe la probabilidad que deba ser hospitalizado. Esta probabilidad viene dada por su categorización, es decir, los pacientes más complejos (C1 y C2) en su mayoría son derivados a hospitalización.

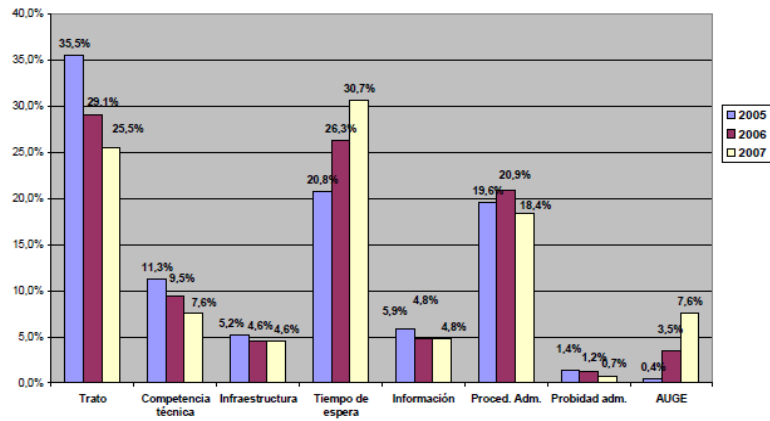
El proceso de urgencia anteriormente descrito se encuentra esquematizado en la Ilustración 11



**Ilustración 11: Sistema de Atención de Urgencia**

### 3.4. Motivación del Proyecto

La atención en urgencia en Chile en ciertos horarios se ve sobrepasada ya que la demanda supera ampliamente la oferta que tiene el sistema público. Este exceso de demanda ha sido detectado por los diferentes servicios de salud. Tomando en particular el SSMO, al cual pertenece el Hospital Calvo Mackenna, un informe del Departamento de Planificación y Desarrollo de la Red Asistencial muestra que la atención en los Servicios de Urgencia posee una evaluación negativa debido al excesivo tiempo de espera, así como otros problemas con el trato del personal y el proceso de admisión.



Fuente: Dpto. de Satisfacción Usuaría y Participación Social, DSSMO

### Ilustración 12: Clasificación de Reclamos en el SSMD (Departamento de Planificación y Desarrollo de la Red Asistencial, PLADE, 2008)

El excesivo tiempo de espera que deben soportar los pacientes, más la angustia que genera el tener una enfermedad todavía no diagnosticada, pueden traducirse en detonantes de problemas como la ansiedad y violencia con el personal del hospital, entre otros. Por otro lado, el excesivo tiempo de espera se convierte en otro problema comentado por los pacientes: los médicos no se toman el tiempo necesario para atender a sus pacientes de forma adecuada. Esta rapidez en la atención es una consecuencia de la excesiva demanda ya que los médicos se esfuerzan en poder atender en su totalidad lo más rápido posible pero con una buena calidad de atención, para evitar los excesivos tiempos de espera. Para entender mejor la relación entre las distintas quejas, tenemos la

### Ilustración 13.

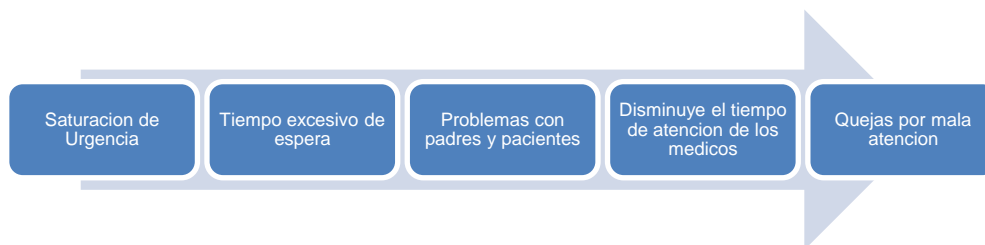


Ilustración 13: Relación entre las diferentes quejas de los usuarios

En conclusión, la principal motivación del proyecto consiste en buscar un apoyo que permita reducir los tiempos excesivos de espera en la atención de urgencia, tratando de adaptarse a la demanda real de pacientes mediante una predicción de esta demanda.

## 4. Revisión de la literatura

En este capítulo se hará un repaso de la literatura disponible para ver los distintos enfoques para resolver la problemática anteriormente planteada.

### 4.1. Pronóstico de demanda

El pronóstico de la demanda es un tema útil y bien estudiado (Armstrong J. S., 2001) que ha generado resultados importantes en diferentes áreas, como en la industria del retail y en el control de inventarios de varias empresas como Dell, entre otras (Kapusinski, Zhang, Carbonneau, Moore, & Reeves, 2004).

Los pronósticos de demanda proporcionan información relevante para la toma de decisiones con el fin de dar un servicio adecuado a la potencial demanda y de este modo evitar quiebres de stock o poseer un exceso de inventario, ya que ambas situaciones producen costos indeseables.

Hay otra línea de predicción de la demanda que se centra en los servicios. Aquí la variable a predecir es el número de clientes que demandan el servicio con el fin de gestionar la capacidad disponible para proporcionar un nivel de servicio determinado. En un trabajo reciente, se propone una forma de predecir la demanda y gestionar la capacidad para los servicios en un restaurante (Hwang, Gao, & Jang, 2010) donde el foco se centra principalmente en la optimización de los ingresos de una demanda una dada una dinámica sin tener en cuenta, de manera explícita, aleatoriedad de la demanda.

En el caso de los servicios hospitalarios la capacidad disponible se ve determina por las instalaciones físicas, tales como box de atención y los recursos humanos, tales como médicos y enfermeras, que realizan diagnósticos y tratamientos en los pacientes. Esta capacidad se debe planificar para garantizar un buen nivel de servicio brindado y, a su vez, optimizar el uso de los recursos.

Muchos métodos diferentes se han propuesto para el pronóstico (Armstrong J. S., 2001)(Box, Jenkins, & Reinsel, 1994). Hay unos cuantos estudios que

comparan diversos métodos de pronóstico en términos de precisión de los resultados. Uno de estos estudios realizado por (Adya & Collopy, 1998) compara el pronóstico hecho con redes neuronales con otros métodos, el que se concluye que el primero da, en general, mejores resultados. Esto está de acuerdo con la experiencia que se detallará más adelante. Por otra parte, hay estudios (Velásquez, Olaya, & Franco, 2010) que muestran, en casos reales y prácticos, la superioridad de las máquinas vectoriales de soporte (Support Vector Machines o SVM) aplicadas a las regresiones sobre otras técnicas como ARIMA o las redes neuronales. Esto concuerda con lo que se mostrará en este trabajo.

Hay estudios publicados sobre el área de la salud y, en particular, en la sala de urgencia. Algunos de estos se han centrado principalmente en la predicción del número de camas en urgencia necesarios para satisfacer la demanda (Farmer & Emami, 1990) y (Jones, Joy, & Pearson, 2002). Otros, más recientes, estudian el pronóstico de demanda (Schweigler, McCarthy, Bukowski, Ionides, & Younger, 2009) pero basado en el enfoque tradicional de predicción de ARIMA.

Los estudios se han centrado en el pronóstico de la demanda en la sala de urgencia en las que todos los pacientes deben ser atendidos, aunque sea con un tiempo de espera considerable. Esto es relevante, porque no hay lista de espera o pacientes que quedan sin atención, por lo que la demanda atendida es igual a la demanda real. No así en otros sectores del hospital como pabellón, donde hay una espera considerable entre el momento en que se genera la demanda y el momento en que se atiende. Este hecho será relevante para este trabajo, ya que sólo fue posible encontrar buenos datos para los servicios de urgencia.

## **4.2. Asignaciones turnos**

Existe una gran cantidad de literatura sobre la planificación de personal. Para esta revisión se limitará a los trabajos más relevantes. Hay un tutorial introductorio a la programación de personal hecha por Blöchliger (Blöchliger, 2003) que presenta los conceptos básicos del problema de programación y discute algunos aspectos de la programación del personal.



Existe poca evidencia de trabajos conducentes a determinar los niveles de personal asistencial requeridos en los centros médicos. De hecho, los pocos estudios encontrados se basan en determinar estos niveles según estándares internacionales, los cuales básicamente indican que debe haber un determinado número de enfermeras y médicos por camas en cada área.

Un estudio calcula la cantidad de personal que se requiere en un área determinada a través de la cantidad de pacientes que se encuentran en ésta. De esta forma, calcula la cantidad de horas por enfermera requeridas y por ende el total de este cargo necesario en esa área. (Warner, Personnel staffing and scheduling, 2006). Este trabajo se centra en un análisis estadístico en lugar de un modelo de optimización; además sólo se enfoca en determinar el número de enfermeras y sólo en servicios diferentes a urgencias. Relacionado con la programación del personal, la literatura es mucho más extensa. De hecho, existe gran variedad de trabajos relacionados con la programación, incluso dentro del contexto de los sistemas de salud en el que se evidencian diversos tipos de problemas, como son: *nurse scheduling*, *patient scheduling* y *surgery scheduling*. Uno de los temas más desarrollados es la programación de enfermeras, donde se destaca el trabajo de (Burke, Causmaecker, Berghe, & Landeghem, 2004) en el cual se realiza una amplia recopilación de los principales trabajos relacionados con problemas de *nurse rostering*, los diferentes problemas que contiene, sus métodos de solución, la importancia de los mismos y sus respectivas fortalezas y debilidades. En el artículo de (Warner & Prawda, 1972) elaboran la programación de las enfermeras teniendo en cuenta sus habilidades y minimizando el costo por ausencia de personal.

Existe también un trabajo interesante en un centro hospitalario de Colombia (Aguirre, Amaya, & Velasco, 2008) en el cual se basa, en gran parte, el presente trabajo; sin embargo la gran diferencia radica en que la demanda de urgencia no es fija, ni es igual a la demanda histórica, ni constante tal como se supone para el hospital de Colombia, sino que viene calculada de los pronósticos de demanda y es variable para cada mes.

## **5. Marco Teórico Conceptual**

En este capítulo se detallará la metodología utilizada para la realización del proyecto aquí planteado, que es la seguida por el magister en Ingeniería de Negocios con Tecnologías de la Información del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile (MBE).

Además, se mostrará una breve descripción de los conceptos utilizados en esta tesis, como la minería de datos y la programación lineal.

### **5.1. Metodología del Proyecto.**

La metodología que se utilizó para llevar a cabo este proyecto, es la que se imparte en el MBE y desarrollada en detalle en el libro “Ingeniería de Negocios, Diseño integrado de negocios, procesos y aplicaciones TI” (Barros, Ingeniería de Negocios, 2010) y (Barros, Ingeniería de Negocios, 2009).

De acuerdo a la creciente necesidad de las empresas por llevar a cabo negocios que logren ser sustentables tanto en el corto como en el largo plazo, se han evidenciado que estas empresas persiguen una serie de iniciativas en la búsqueda de mejores prácticas que logren mejorar la productividad a todo nivel. En particular, la gestión de los procesos de negocio es considerado un factor clave para lograr que las empresas logren alcanzar éxito en el mercado.

De acuerdo a ello, aparece la metodología de “Business Process Management” (BPM) que genera una manera sistemática de poder hacer gestión sobre los procesos de la empresa utilizando técnicas de modelamiento para integrarlos, monitorearlos y optimizarlos recursivamente en una lógica de mejora continua (Barros & Julio, 2010).

La ingeniería de negocios es un elemento clave a la hora de diseñar los procesos de negocios de una organización. De acuerdo al trabajo realizado por Barros (Barros, Rediseño de Procesos de Negocios mediante el Uso de Patrones, 2003), uno de los aspectos más importantes en el diseño de procesos es la

existencia de varios niveles de diseño, los cuales deben ser vistos de manera coordinada. Los niveles que define son:

- Modelo de negocio y arquitectura de procesos y su relación con la estrategia y la estructura organizacional, también llamada arquitectura empresarial.
- Diseño de procesos que implementan el modelo, con énfasis en el negocio.
- Diseño y construcción de las aplicaciones TI de apoyo a los procesos

Paralelamente, para llevar a cabo un proceso de ingeniería de negocios efectivo es recomendable ser metódico y llevar a cabo la siguiente secuencia de pasos para lograr un buen diseño.

- I. Planteamiento Estratégico: punto de partida de la metodología que busca generar las líneas que sigue la empresa con respecto a su posicionamiento estratégico. En esta etapa se detalla el posicionamiento estratégico de la empresa de acuerdo a los trabajos de M. Porter (Porter, 1996) y A. Hax (Hax, 2010). Asimismo, se busca generar un mapa estratégico donde se relacione la visión y misión de la empresa con las distintas perspectivas del BSC<sup>3</sup> hasta llegar a la definición de los procesos internos de nivel más bajo.
- II. Definición del Modelo de Negocio: se describe cómo se pretende llevar a cabo el posicionamiento estratégico propuesto por la empresa generando valor al cliente a través de una propuesta de valor a los clientes. Para el desarrollo de este punto se utilizará en enfoque planteado por (Johnson, Christensen, & Kagermann, 2008) en el artículo *Reinventing your Business model*.
- III. Diseño de la Arquitectura de Procesos: se realiza el diseño de la arquitectura de macroprocesos (detallado más adelante en este capítulo) a partir del modelo de negocios. Este diseño utiliza como punto de partida los patrones de arquitectura de procesos propuestos en el paper *Enterprise and Process Architecture Patterns* (Barros & Julio, Enterprise and Process

---

<sup>3</sup> BSC: Balanced Score Card, metodología propuesta por Kaplan y Norton

Architecture Patterns, 2010). Es importante recalcar que lo más relevante que se propone en esta arquitectura de procesos son las relaciones que hay entre estos. Este diseño de macroprocesos se realiza utilizando herramientas computacionales que permitan modelar bajo la metodología IDEF0<sup>4</sup>.

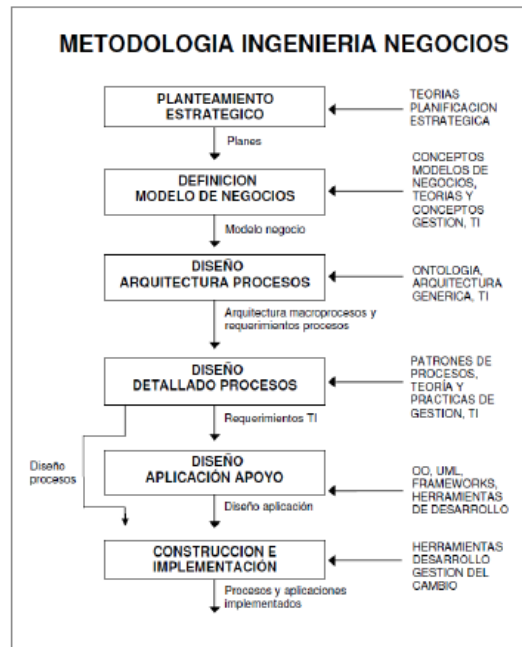
- IV. Diseño Detallado de los Procesos: una vez detallada la arquitectura de macroprocesos, se realiza un diseño más minucioso utilizando como punto de partida los Patrones de Procesos de Negocios (Barros, Ingeniería de Negocios, 2010). Para este diseño también se utiliza una herramienta computacional que permita modelar bajo la metodología IDEF0, y BPMN<sup>5</sup>.
- V. Diseño de la(s) Aplicación(es) de Apoyo: generado a partir de los diseños de procesos en BPMN del punto anterior. Para cada modelo BPMN se determina el apoyo requerido en términos computacionales y luego se procede a diseñar utilizando la metodología UML<sup>6</sup> y una programación orientada a objetos.
- VI. Construcción e Implementación de la Solución: Por último, ya con toda la información necesaria y detallada en los pasos anteriores, se finaliza con la implementación de un sistema de apoyo. Aquí se construyen la o las aplicaciones necesarias para desarrollar de manera eficaz, los procesos diseñados que apoyan al modelo de negocios propuesto.

---

<sup>4</sup> IDEF0: *Integration Definition for Function Modeling*.

<sup>5</sup> BPMN: Business Process Management Notation, <http://www.bpmn.org/>

<sup>6</sup> UML: Unified Model Language



**Ilustración 14: Metodología Ingeniería de Negocios (Barros, Ingeniería de Negocios, 2009)**

## 5.2. Arquitectura de procesos

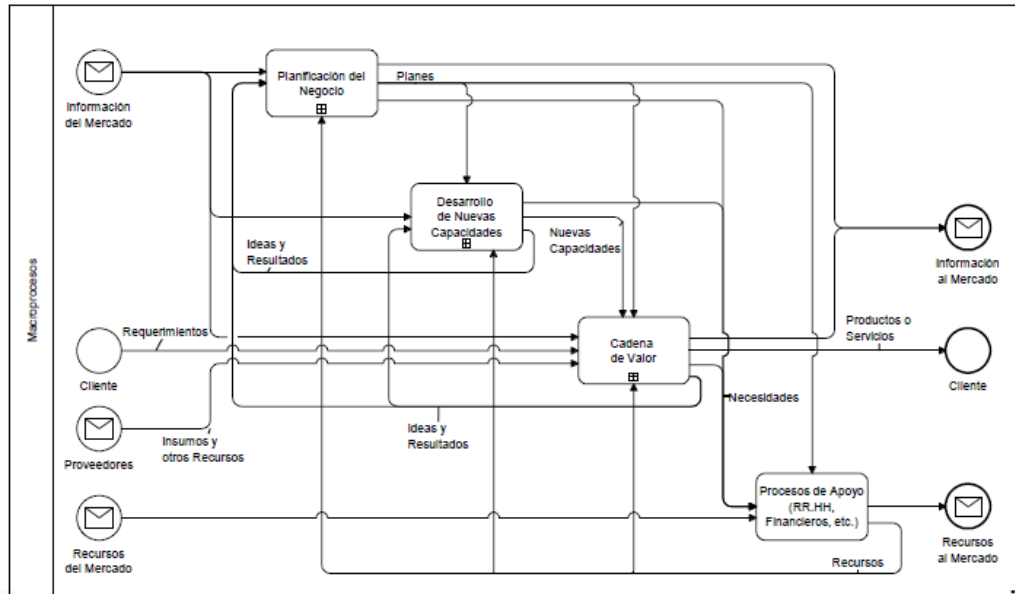
La arquitectura de procesos puede ser dividida en 3 niveles dependiendo de su nivel de detalle, lo importante entre estos niveles es mantener la consistencia entre las relaciones que ocurren entre procesos. En un primer nivel nos encontramos con la Arquitectura de Procesos de Negocios de la empresa, que muestra los principales procesos de ella. En un segundo nivel se muestra en mayor detalle cómo se estructuran los procesos de la empresa mostrando cada subproceso, sus relaciones y los flujos de información. Y, finalmente, el tercer nivel muestra la parte procedural de cada proceso, modelando la ejecución de cada tarea, incluida su interacción con los sistemas computacionales requeridos. En este nivel va la lógica más compleja del negocio y muestra de forma estricta y detallada la secuencia de pasos que deben llevar a cabo.

A su vez, para una mejor gestión de los procesos, se propone una estructuración en los llamados Macroprocesos, que permiten generar una

arquitectura base que integra los procesos clave que deberían tenerse en cuenta al momento de estructurar un buen negocio. Estos macro procesos son:

- I. Macroproceso I: en él se agrupan todas las actividades que realiza la empresa que tienen directa relación con la entrega del producto de acuerdo a las necesidades del cliente. Se incluyen lo que habitualmente conocemos como actividades de la cadena valor.
- II. Macroproceso II: Aquí se agrupan las actividades relacionadas a nuevas capacidades necesarias para ser competitiva. Se incluyen todos los procesos que buscan nuevas formas, tecnologías, modelos y recursos en general para realizar las actividades del negocio.
- III. Macroproceso III: en él se agrupan las actividades necesarias para determinar las directrices del negocio de acuerdo a una visión estratégica que, en general, se materializa en planes y programas.
- IV. Macroproceso IV: en él se agrupan las actividades que gestionan los recursos necesarios para que las actividades del negocio, los otros tres macroprocesos, se puedan llevar a cabo. Como marco general, dentro de él se incluye Recursos Financieros, Recursos Humanos, Infraestructura y Materiales.

De acuerdo a este modelo, cualquier organización puede ser vista según estos macroprocesos y desarrollar de mejor manera sus actividades. Además, este marco conceptual permite identificar las relaciones entre los procesos y los flujos de información y requerimientos entre ellos, permitiendo una mejor gestión de la interacción que existe entre ellos.

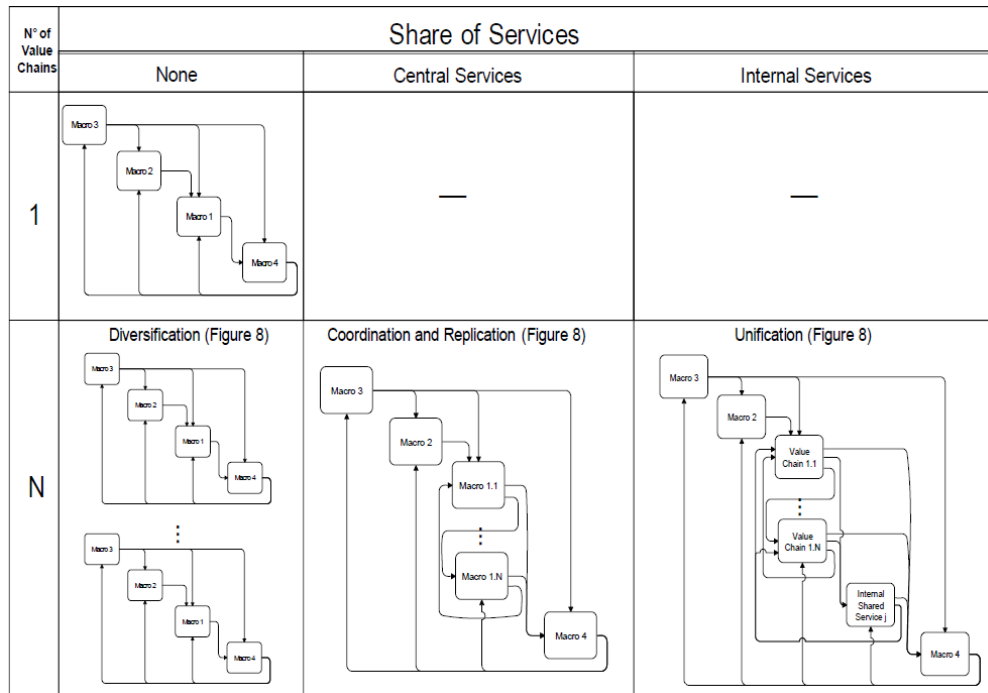


**Ilustración 15: Patrones de Macroprocesos (Barros, Ingeniería de Negocios, 2010)**

Cabe destacar que cada empresa puede tener diferentes configuraciones. Las cuatro configuraciones que proponen en (Barros & Julio, Enterprise and Process Architecture Patterns, 2010) son:

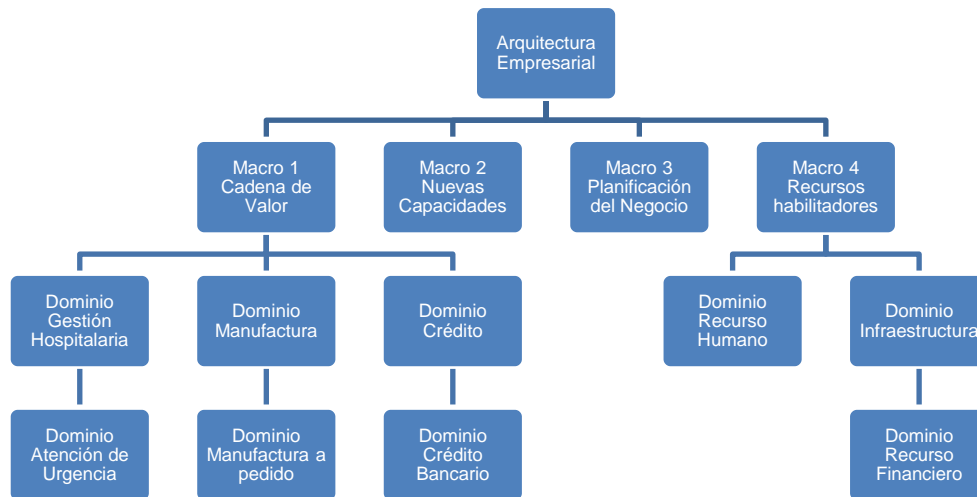
- Negocios con sólo una cadena de valor de tipo Macro 1.
- Negocios con varias cadenas de valor en que cada una opera de manera independiente (Diversificación)
- Negocios con varias cadenas de valor, en que cada una opera de manera independiente pero pueden compartir algunos servicios centrales como, planificación del negocio (Macro 3), desarrollo de nuevas capacidades (Macro2) y Procesos de Apoyo (Macro 4) (Coordinación y Replicación)
- Negocios con más de una cadena de valor que comparten algún servicio común (Unificación)

Esto se evidencia gráficamente en la Ilustración 16



**Ilustración 16: Patrones de arquitectura de procesos**

Cada uno de estos patrones de macroprocesos pueden ser adaptados a diferentes industrias o modelos de negocio específicos con el fin de incorporar las prácticas específicas. Algunos de los ámbitos ya cubiertos por los patrones son los que muestra la Ilustración 17



**Ilustración 17: Árbol de patrones de procesos de negocio (Barros, 2006)**



### 5.3. Notación de Modelamiento de Procesos de Negocio

La Notación de Modelamiento de Procesos de Negocio, más conocida como BPMN (Business Process Modeling Notation), es un conjunto de elementos desarrollados para representar las actividades de un negocio de negocio (White, 2004)

#### 5.3.1. BPMN

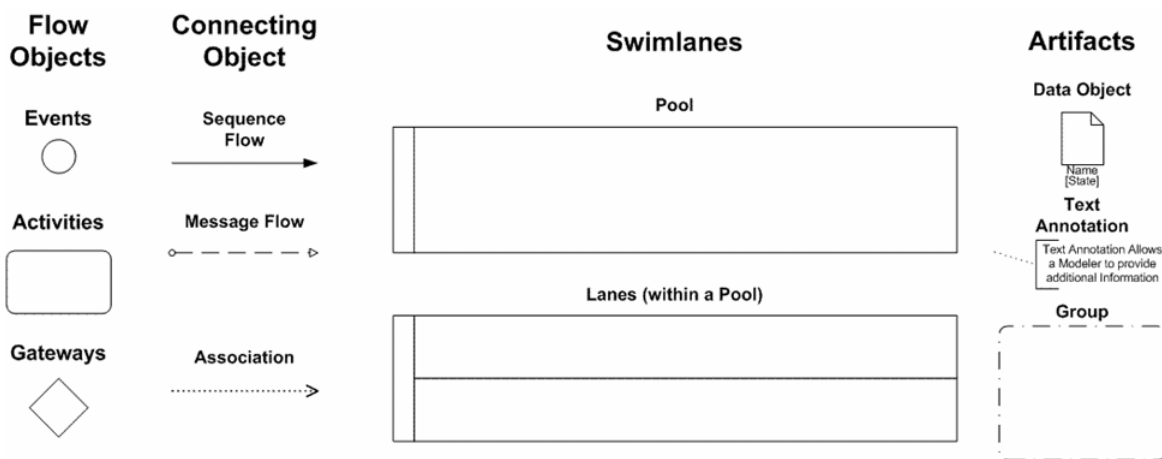
BPMN provee una notación común para que las personas relacionadas con los procesos puedan expresarlos gráficamente en una forma más clara, estandarizada y completa. BPMN facilita no sólo la estandarización de los procesos dentro de la organización sino que amplía el campo de acción para que estos puedan ser compartidos y entendidos entre los diferentes actores del de negocio, como los analistas y los desarrolladores.

ELEMENTO	DEFINICIÓN	NOMBRE BPMN	Nombre
Elementos de Flujo (Flow Objects)	Los elementos de flujo son los principales elementos gráficos que definen el comportamiento de los procesos.	Events	Evento
		Activities	Actividad
		Gateways	Decisión
Conectores (Connecting Objects)	Los objetos del flujo se conectan entre ellos a través de los conectores para crear el esqueleto básico de la estructura del proceso de negocio.	Sequence Flow	Flujo de secuencia
		Message Flow	Flujo de mensaje
		Association	Asociación
Canales (Swimlane)	Los canales son mecanismos de organización de las actividades en categorías visuales separadas para	Pools	Piscinas
		Pool Lanes	Canales

	ilustrar las diferentes áreas funcionales o responsables.		
Artefactos (Artifacts)	Los artefactos son usados para proveer información adicional sobre el proceso. Otorgan flexibilidad a la notación para expresar diferentes contextos en forma apropiada.	Data	Objeto de datos
		Object	Objeto
		Group	Grupo
		Annotation	Anotación

**Tabla 5: Elementos BPMN fuente adaptado de (BizAgi, 2010)**

Cada uno de estos elementos tiene una representación gráfica.






**Ilustración 18: Figura BPMN basado en (White, 2004)**

Los elementos de flujo son los principales elementos gráficos que definen el comportamiento de los procesos. Por ello se detallan a continuación.

### 5.3.1.1. Eventos

Un evento es algo que sucede durante el curso del proceso, afectan el flujo de proceso y normalmente tienen una causa (trigger) o resultado.


Los eventos son representados a través de círculos con centro vacío, lo cual permite incluir diferentes marcadores para diferenciarlos entre sí.

<b>NOMBRE BPMN</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>NOTACIÓN</b>
Inicio	Como su nombre lo indica, representa el punto de inicio de un proceso.	
Intermedio	Ocurren entre un evento de inicio y de fin. Afectará el proceso pero no lo iniciará o directamente finalizará.	
Fin	Indica cuando un proceso termina.	

**Tabla 6: Eventos básicos BPMN**

### 5.3.1.2. Tareas

Las actividades representan trabajo o tareas realizadas por miembros de la organización. Este elemento simboliza tareas manuales o automáticas llevadas a cabo por un usuario o un sistema externo. Las actividades pueden ser atómicas o no atómicas (compuestas). Su representación grafica es por un rectángulo con bordes redondeados.

<b>NOMBRE BPMN</b>	<b>USO</b>	<b>NOTACIÓN</b>
Tarea de Usuario	Es una tarea de “flujo de trabajo” donde un humano realiza una tarea que tiene que ser completada en cierta cantidad de tiempo. Se usa cuando el trabajo durante el proceso no puede ser descompuesto en un nivel más fino dentro del flujo.	

**Tabla 7: Actividades Básicas BPMN**

### 5.3.1.3. Decisiones

Las Decisiones son usadas para controlar la divergencia y convergencia del flujo. Éstas determinan ramificaciones, bifurcaciones, combinaciones y

fusiones en el proceso. Se representan a través de una figura de diamante. Marcadores internos mostrarán el tipo de control que se usa.


TIPO DE DECISIÓN	DEFINICIÓN	NOTACIÓN
Decisión Exclusiva	Decisión basada en datos del sistema. El mismo elemento se usa para sincronizar esta figura.	

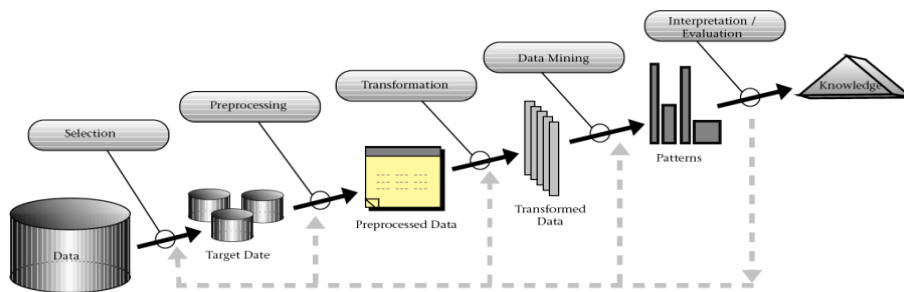
Tabla 8: Decisiones Básicas BPMN

## 5.4. Minería de Datos

Data Mining es un término genérico que engloba resultados de investigación, técnicas y herramientas usadas para extraer información útil de grandes bases de datos.

Esta minería de datos se utiliza en un sinnúmero de rubros con el fin de aumentar la eficiencia, mejorar la competitividad y mejorar el entendimiento de los comportamientos de los clientes. Algunos ejemplos donde se ha utilizado la minería de datos de forma exitosa es en detección de fraude, evaluación de crédito, patrones de fuga, predicción de demanda, entre otros.

Hay diversas técnicas de la minería de datos. Sin embargo, para llevarlas a cabo de manera adecuada existe un proceso de obtención de conocimiento llamado KDD por sus siglas en inglés *Knowledge Discovery from Database* (Fayyad, Piatetsky-Shapiro, & Smyth, 1996) donde se llevan a cabo las etapas de selección, pre-procesamiento, transformación, aplicación de técnicas de minería de datos, interpretación de los resultados y obtención del conocimiento. Esto se resume en la Ilustración 19



**Ilustración 19: proceso KDD (Fayyad, Piatetsky-Shapiro, & Smyth, 1996)**

### **5.4.1. Proceso KDD**

El proceso KDD se divide en 5 pasos: selección, pre-procesamiento, transformación, aplicación de técnicas de minería de datos e interpretación de los resultados.

#### **5.4.1.1. Selección de Datos**

En la mayoría de los casos se tiene una gran cantidad de datos. La selección de características reduce el tamaño de los datos eligiendo las variables más influyentes en el problema, sin sacrificar la calidad del modelo de conocimiento obtenido del proceso de minería.

Los métodos para la selección de características son básicamente dos:

- Aquellos basados en la elección de los mejores atributos del problema.
- Aquellos que buscan variables independientes mediante pruebas de sensibilidad, algoritmos de distancia o heurísticos.

#### **5.4.1.2. Pre-procesamiento**

El formato de los datos contenidos en la fuente de datos (generalmente en bases de datos o planillas Excel) nunca es el idóneo, y la mayoría de las veces no

es posible ni siquiera utilizar ningún algoritmo de minería sobre los datos en bruto. Mediante el preprocesado, se filtran los datos (de forma que se eliminan valores incorrectos, no válidos o desconocidos, según las necesidades y el algoritmo a usar), se obtienen muestras de los mismos, o se reducen el número de valores posibles (mediante redondeo, clustering, etc).

#### **5.4.1.3. Transformación**

Se transforman los datos al formato requerido por el algoritmo específico de minería de datos. Generalmente aquí se tratan temas como la normalización de datos y la forma de pasar variables categóricas a numéricas.

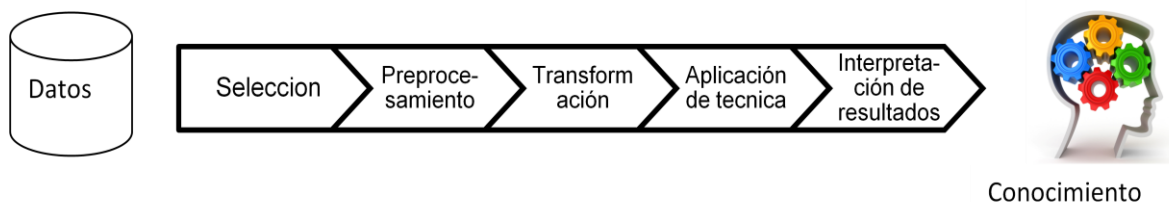
#### **5.4.1.4. Algoritmos de Extracción de Conocimiento**

Mediante una técnica de minería de datos, se obtiene un modelo de conocimiento, que representa patrones de comportamiento observados en los valores de las variables del problema o relaciones de asociación entre dichas variables. También pueden usarse varias técnicas a la vez para generar distintos modelos, aunque generalmente cada técnica obliga a un preprocesado diferente de los datos.

#### **5.4.1.5. Interpretación y evaluación**

Una vez obtenido el modelo, se debe proceder a su validación, comprobando que las conclusiones que arroja son válidas y consistentes con la realidad. En el caso de haber obtenido varios modelos mediante el uso de distintas técnicas, se deben comparar los modelos en busca de aquel que se ajuste mejor al problema. Si ninguno de los modelos alcanza los resultados esperados, debe alterarse alguno de los pasos anteriores para generar nuevos modelos.

Es importante destacar que los modelos por si solos, únicamente entregan información, y es tarea de un analista del negocio, transformar esa información en conocimiento.



**Ilustración 20: proceso KDD basado en (Fayyad, Piatetsky-Shapiro, & Smyth, 1996)**

### 5.4.2. Modelos de Minería de Datos

Los modelos de minería de datos pueden dividirse según diferentes criterios. Dentro de estas divisiones, hay dos que cobran suma relevancia, la generalización del modelo y la supervisión del entrenamiento.

### 5.4.3. Generalización del modelo

La generalización del modelo se refiere en la forma de en que el modelo ajusta en base a los datos entrenamiento se subdivide en dos tipos de métodos:

- I. **Métodos retardados (lazy):** se caracterizan porque retrasan la decisión de la generalización del conjunto de entrenamiento, hasta el instante en que se recibe un nuevo dato a procesar. Los ejemplos de entrenamiento nunca son desechados, ya que el procesamiento de nuevos datos se obtienen a partir de estos.
- II. **Métodos anticipativos (eager):** construyen un modelo de generalización, antes de tener que realizar la tarea de generalización. En este caso, los ejemplos son desechados y reemplazados por el modelo.

### 5.4.4. Supervisión del entrenamiento

Los modelos se dividen en dos grupos según su forma de aprendizaje:

- I. **Aprendizaje supervisado:** es una técnica para deducir una función a partir de datos de entrenamiento. Los datos de entrenamiento consisten de pares de objetos (normalmente vectores). Una componente del par son los datos de entrada y el otro, los resultados deseados. La salida de la función puede ser un valor numérico (como en los problemas de regresión) o una etiqueta de clase (como en los de clasificación). A través del aprendizaje supervisado se crea una función capaz de predecir el valor correspondiente a cualquier objeto de entrada válida después de haber visto una serie de ejemplos, los datos de entrenamiento. Para ello, tiene que generalizar a partir de los datos presentados a las situaciones no vistas previamente.
- II. **Aprendizaje no supervisado:** es un aprendizaje automático donde un modelo es ajustado a las observaciones. Se distingue del aprendizaje supervisado por el hecho de que no hay un conocimiento a priori. En el aprendizaje no supervisado, un conjunto de datos de objetos de entrada es tratado como un conjunto de variables aleatorias, siendo construido un modelo de densidad para el conjunto de datos.

Modelos Supervisados	Modelos no supervisados
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tareas predictivas</li> <li>• Hay medidas de error o de capacidad de ajuste</li> <li>• Existe una variable objetivo a modelar o predecir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tareas descriptivas o de resumen de un comportamiento global</li> <li>• Medidas de error más difusas relativas a la capacidad de interpretación de los datos</li> <li>• Existen muchas variables que describen distintos objetos</li> </ul>

**Ilustración 21: Comparación Modelos Supervisado v/s No Supervisados**



### 5.4.5. Técnicas comunes en Data Mining

A continuación se detallaran los tipos de técnicas comunes en minería de datos.

- I. **Clasificación:** es una tarea predictiva, en donde cada instancia pertenece a una clase, la cual se indica mediante el valor de un atributo discreto que llamamos la clase de la instancia. El resto de los atributos de la instancia se utilizan para predecir la clase.
- II. **Regresión:** es una tarea predictiva, que consiste en descubrir una función que asigna a cada instancia un valor real. Un caso particular son las regresiones en series de tiempo, en donde la variable va cambiando su valor a lo largo del tiempo.
- III. **Clustering:** es una tarea descriptiva, que consiste en obtener grupos "naturales" a partir de los datos. A diferencia de la clasificación, en lugar de analizar datos etiquetados con una clase, los analiza para generar esta etiqueta
- IV. **Reglas de Asociación:** es una tarea descriptiva, que tiene como objetivo identificar relaciones no explícitas entre distintos atributos. Una regla de asociación tiene la forma de "Si  $X=x$ , entonces  $Y=y$ ". Si los atributos son numéricos, se le llama correlación, que entrega el grado de similitud de las variables.

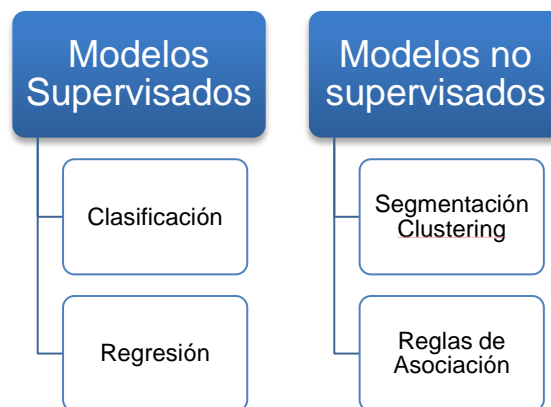


Ilustración 22: Clasificación Técnicas

### 5.4.6. Regresión

Es una tarea predictiva, que consiste en descubrir una función que asigne a cada instancia un valor real. Un caso particular son las regresiones en series de tiempo, en donde la variable a predecir va cambiando su valor a lo largo del tiempo. Hay diferentes técnicas que pueden ser usadas para estimar o descubrir la función asociada al valor real; entre ellas podemos destacar: Regresión lineal, medias móviles ponderadas, redes neuronales y Support Vector Regression (SVR) que serán explicadas a continuación.

#### 5.4.6.1. Regresión Lineal

En estadística la regresión lineal o ajuste lineal es un método matemático que modela la relación entre una variable dependiente  $Y_i$ , las variables independientes  $X_i$  y un término aleatorio  $\varepsilon$  que representa el error. Este modelo puede ser expresado como:

$$\hat{y} = a + b \cdot x$$

**Formula 1: ecuación de la recta**

Para obtener los valores que minimizan el error de la estimación de serie de tiempo se debe resolver la siguiente ecuación.

$$\text{Min} \sum_i (\hat{y}_i - y_i)^2 = \text{Min} \sum_i (a + b \cdot x_i - y_i)^2$$

**Formula 2: Regresión Lineal**

Como resultado de lo anterior se obtiene:

$$a = \frac{\sum_i y_i}{n} - b \cdot \frac{\sum_i x_i}{n}$$

$$b = \frac{n \cdot \sum_i x_i \cdot y_i - \left[ \left( \sum_i x_i \right) \cdot \left( \sum_i y_i \right) \right]}{n \cdot \sum_i x_i^2 - \left( \sum_i x_i \right)^2}$$

**Formula 3: Resultado regresión lineal**

#### 5.4.6.2. Medias móviles Ponderadas

Se trata de un promedio aritmético que "suaviza" la curva de precios o demanda y se convierte en una línea o curva de la tendencia, permitiendo analizar su inicio y su final. No proporciona cambios de tendencia pero si los puede confirmar. Se usa para demanda estable, sin tendencia ni estacionalidad; suaviza las fluctuaciones de plazos cortos, resaltando así las tendencias o ciclos de plazos largos.

Las fórmulas asociadas a este método son:

$$F_{t+1} = W_t \cdot D_t + \dots + W_{t-N+1} \cdot D_{t-N+1}$$

$D_t$  Demanda Real en t  
 $F_t$  Pronostico en t  
 $W_t$  Peso asociado a  $D_t$

**Formula 4: Medias móviles ponderadas.**

Para calcular los mejores pesos,  $W_t$  es necesario resolver el siguiente problema de programación lineal

$$\begin{array}{l}
\min \sum_t |D_t - F_t| \\
s.a. \\
\sum_{i=t-N+1}^t W_i = 1 \\
W_i \geq 0
\end{array}$$

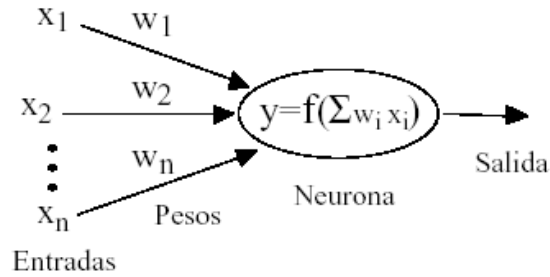
Fórmula 5: medias móviles ponderadas.

### 5.4.6.3. Redes neuronales

Las Redes Neuronales se basan en la analogía que existe en el comportamiento y función del cerebro humano, en particular del sistema nervioso, el que está compuesto por redes de neuronas biológicas que poseen bajas capacidades de procesamiento; sin embargo toda su capacidad cognitiva se sustenta en la conectividad de éstas.

La unidad de una red neuronal artificial es un procesador elemental llamado neurona que posee la capacidad limitada de calcular, en general, una suma ponderada de sus entradas y luego le aplica una función de activación para obtener una señal que será transmitida a la próxima neurona. Estas neuronas artificiales se agrupan en capas o niveles y poseen un alto grado de conectividad entre ellas, conectividad que es ponderada por los pesos. A través de un algoritmo de aprendizaje supervisado o no supervisado, las redes neuronales ajustan su arquitectura y parámetros de manera de poder minimizar alguna función de error que indique el grado de ajuste a los datos y la capacidad de generalización de las redes neuronales.

McCulloch y Pitts en 1943 (McCulloch & Pitts, 1943) concibieron un modelo abstracto y simple de una neurona artificial, este es el elemento básico de procesamiento en una red neuronal. En la Ilustración 23 se muestra su esquema:



**Ilustración 23: detalles de una neurona**

El modelo está compuesto por un vector de pesos  $w = (w_1, \dots, w_d)^t$  que pondera al vector de datos de entrada  $x = (x_1, \dots, x_d)^t$ . La actividad consiste en generar una única salida  $y$  a partir de la aplicación de la función de activación “ $y$ ” en base a una función aplicada sobre la suma ponderada entre el vector de entrada  $x = (x_1, \dots, x_d)^t$  y el vector de pesos  $w = (w_1, \dots, w_d)^t$

Donde la función  $f$  es una función no-lineal. La función propuesta por McCulloch-Pitts posee una salida binaria  $\pm 1$  conocida como la función de todo o nada que equivale a la función signo dada por:

$$f(z) = \begin{cases} 1 & \text{si } z \geq 1 \\ -1 & \text{si } z < 0 \end{cases}$$

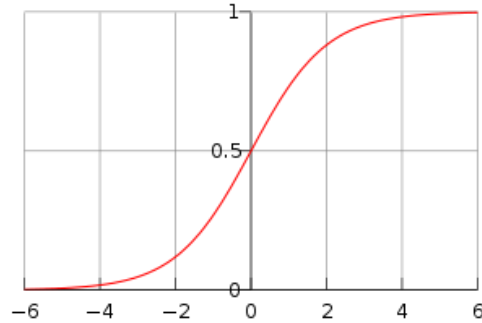
**Formula 6: Función binaria**

Cuando se consideran neuronas con respuestas de procesamiento gradual, entonces se pueden usar funciones de activación de forma lineal  $f(z) = z$  o de forma Sigmoidal:

$$f(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad z \in R$$

**Formula 7: Función de activación Sigmoidal**

Los valores de la función Sigmoidal están acotados entre cero y uno para todos los valores reales tal como se muestra en la Ilustración 24

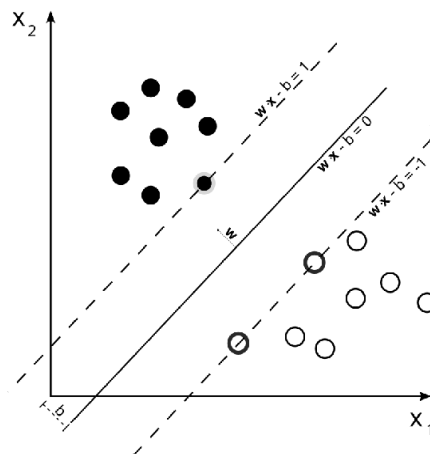


**Ilustración 24: Representación grafica función Sigmoideal**

#### 5.4.6.4. Support Vector Machines

Las máquinas de vectores de soporte (Support Vector Machines o SVM) son un conjunto de algoritmos de aprendizaje supervisado desarrollados por Vladimir Vapnik (Vapnik, 1995).

Están propiamente relacionados con problemas de clasificación y regresión. Dado un conjunto de ejemplos de entrenamiento podemos etiquetar las clases y entrenar una SVM para construir un modelo que prediga la clase de una nueva muestra. Intuitivamente, una SVM es un modelo que representa a los puntos de muestra en el espacio, separando las clases por un espacio lo más amplio posible. Cuando las nuevas muestras se ponen en correspondencia con dicho modelo, en función de su proximidad pueden ser clasificadas a una u otra clase.



**Ilustración 25: Ejemplo de Hiperplano de SVM**

Más formalmente, una SVM construye un hiperplano o conjunto de hiperplanos en un espacio de dimensionalidad muy alta (o incluso infinita) el cual puede ser utilizado en problemas de clasificación o regresión. Una buena separación entre las clases permitirá una clasificación correcta.

#### 5.4.6.5. Support vector Regression

Una variación de las Support Vector Machines son las máquinas vectoriales de soporte para regresiones o también conocida como Support Vector Regression. Estas fueron propuestas por (Drucker, Burges, Linda Kaufman, & Vapnik, 1997) cuya idea principal es la siguiente:

Support Vector Regression (SVR) lleva a cabo la regresión lineal en el espacio de características de mayor dimensión, que utiliza la función de pérdida insensible propuesta por (Vapnik, 1995). Esta función permite un grado de tolerancia a errores mientras no sea superior a  $\epsilon$  como la se muestra en la Ilustración 26.

Teniendo en cuenta un conjunto de datos de entrenamiento  $\{(x_1, y_1), \dots, (x_n, Y_n)\}$ , donde cada  $x_i \in \mathbb{R}^n$  denota el espacio de entrada de la muestra y tiene un valor objetivo correspondiente  $y_i \in \mathbb{R}$  para  $i = 1, \dots, l$  donde  $l$  son los datos de entrenamiento disponibles para construir un modelo de regresión. El algoritmo SVR se aplica una función de transformación a los puntos de datos originales del primer espacio de entrada  $\mathbb{R}^n$  a un espacio de dimisión superior ( $F$ ). En este nuevo espacio, se construye un modelo lineal, lo que representa un modelo no lineal en el espacio original:

$$\begin{array}{l} \Phi: \mathbb{R}^n \rightarrow F; \omega \in F \\ f(\mathbf{x}, \omega) = \langle \omega, \Phi(\mathbf{x}) \rangle + b \end{array}$$

#### Formula 8: Transformación a un modelo lineal

Cuando la función de identidad se utiliza, es decir  $\Phi(x) \rightarrow x$ , ninguna transformación se lleva a cabo y los modelos lineales de SVR son obtenidos.

El objetivo al utilizar la función de pérdida insensible es encontrar una función  $f$  determinada que se ajuste a los datos de entrenamiento con una desviación menor o igual  $\varepsilon$ , y al mismo tiempo es tan plano como sea posible a fin de reducir la complejidad del modelo. Esto significa que se busca un vector de pesos pequeños  $w$ . Una manera de asegurar esto, es reduciendo al mínimo la norma  $\|\omega\|^2$  (Smola & Schölkopf, 2004) que conducen a la siguiente optimización:

$$\begin{array}{l} \min \frac{1}{2} \|\omega\|^2 \\ \text{sujeto a } \begin{cases} f(\mathbf{x}_i, \omega) - y_i \leq \varepsilon \\ y_i - f(\mathbf{x}_i, \omega) \leq \varepsilon \end{cases} \end{array}$$

**Formula 9: Formulación Programación lineal SVM**

Este problema podría ser infactible. Por lo tanto, se introducen las variables de holgura  $\xi_i, \xi_i^*$   $i = 1, \dots, n$ , para permitir niveles de error mayor que (véase la Ilustración 26), llegando a la siguiente formulación:

$$\begin{array}{l} \min \frac{1}{2} \|\omega\|^2 + C \sum_{i=1}^n (\xi_i + \xi_i^*) \\ \text{sujeto a } \begin{cases} y_i - f(\mathbf{x}_i, \omega) \leq \varepsilon + \xi_i^* & \forall i = 1, \dots, n \\ f(\mathbf{x}_i, \omega) - y_i \leq \varepsilon + \xi_i & \forall i = 1, \dots, n \\ \xi_i, \xi_i^* \geq 0, & \forall i = 1, \dots, n \end{cases} \end{array}$$

**Formula 10: Formulación Programación lineal SVR con variables de holgura**

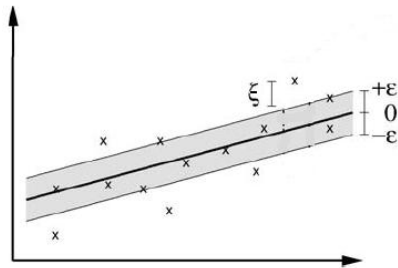
Este problema de optimización puede transformarse en el problema dual (Vapnik, 1995) y su solución está dada por:

$$\begin{array}{l} f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^{n_{SV}} (\alpha_i - \alpha_i^*) K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}) \\ \text{Sujeto a} \\ 0 \leq \alpha_i^* \leq C \\ 0 \leq \alpha_i \leq C \end{array}$$

**Formula 11: Formulación Dual SVM**



Donde  $n_{sv}$  es el número de vectores de soporte (SV), Aquí, la expresión  $k(x_i, x)$  es igual a  $(\Phi_i(x), \Phi(x))$  la que se conoce como la función de kernel (núcleo) (Vapnik, 1995). La existencia de esta función nos permite obtener una solución para el problema de regresión original, sin preocuparse acerca de la transformación  $\Phi(x)$  aplicada a los datos.



**Ilustración 26: Support vector regression con función de pérdida  $\epsilon$  y variables de holgura  $\xi$**

Algunos kernels comunes utilizados para la técnica de support vector machines son mostrados en la siguiente tabla:

<b>Kernels</b>	<b>Funciones</b>
Lineal	$x \cdot y$
Polinomial	$[(x * x_i) + 1]^d$
RBF	$\exp\{-\gamma x - x_i ^2\}$

**Tabla 9: Funciones Kernel comunes**

Es bien sabido que la precisión de la generalización del SVM depende de una buena elección de los meta-parámetros  $C$ ,  $\epsilon$  y el parámetro del kernel. El problema de la selección de parámetros óptimos se complica aún más por el hecho de que la complejidad del modelo SVM depende de los tres parámetros, (Cherkassky & Ma, 2004).

#### 5.4.7. Comparación de modelos

Todos los modelos anteriormente mostrados, sirven para pronosticar la demanda. Sin embargo, es necesario una forma de comparar los diferentes modelos y elegir el mejor en base al error que cometen al realizar un pronóstico.

El error del pronóstico es la diferencia entre el valor real y el pronosticado del período correspondiente.  $E_t = D_t - Y_t$  donde:

$D_t$ : Demanda Real en el periodo t

$Y_t$ : Demanda pronosticada en el periodo t

En un sentido estricto, los errores en los pronósticos son los observados como la diferencia entre el pronóstico y el valor real cuando el pronóstico se ha realizado con anterioridad al conocimiento dicho valor. Sin embargo, ciertos modelos de predicción de series temporales se basan en la determinación de sus parámetros persiguiendo un ajuste a los valores históricos. En este caso, se realiza un “pronóstico” de los valores reales ya conocidos. De este modo, puede distinguirse entre predicción *ex-post* (*within-sample*) cuando se trata del pronóstico de valores ya conocidos, y predicción *ex-ante* (*out-of-sample*) cuando se trata del pronóstico de valores desconocidos. Los errores así obtenidos pueden denominarse de ajuste y de test respectivamente. Los investigadores generalmente están de acuerdo en que el acierto en las previsiones debe ser evaluado utilizando una parte del histórico que no se haya usado en el cálculo del pronóstico (Fildes & Makridakis, 1995). Otros estudios empíricos han demostrado que los errores cometidos en el test normalmente exceden a los errores de ajuste. El sobre-ajuste agrava las diferencias entre los errores de ajuste y de test. En definitiva, se considera que los errores de los pronósticos *ex-ante* son los más adecuados para comparar modelos de pronósticos de series temporales, debido a que un buen ajuste del modelo a los datos históricos no tiene porqué significar un alto acierto en predicciones futuras.

Hay diferentes indicadores en base a este error de pronóstico que aseguran una comparación adecuada entre modelos ya que estos pueden estar en escalas diferentes o pueden tener distinta cantidad de observaciones. Estos indicadores se muestran en la Tabla 10

Error absoluto de la media (MAD)	$MAD = \frac{\sum_{t=1}^N  E_t }{N}$
Error absoluto porcentual de la media (MAPE)	$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^N  \frac{E_t}{Y_t} }{N}$
Desviación porcentual absoluta de la media (PMAD)	$PMAD = \frac{\sum_{t=1}^N  E_t }{\sum_{t=1}^N  Y_t }$
Error cuadrático de la media (MSE)	$MSE = \frac{\sum_{t=1}^N E_t^2}{N}$
Raíz del error cuadrático de la media (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N E_t^2}{N}}$

**Tabla 10: Indicadores de comparación de Pronósticos**

Uno de los indicadores que aseguran mayor validez es el error porcentual absoluto promedio (MAPE), ya que permite comparar errores que estas en distintas escalas.

## 5.5. Programación Lineal

La Programación Lineal (PL) es una de las principales ramas de la Investigación Operativa. En esta categoría se consideran todos aquellos modelos de optimización donde las funciones que lo componen, es decir, función objetivo y restricciones, son funciones lineales en las variables de decisión.

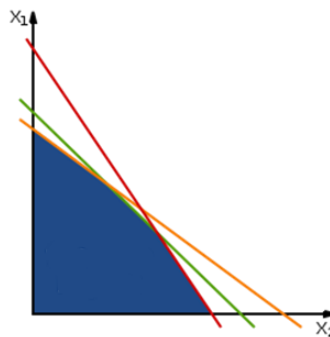
Los modelos de Programación Lineal, por su sencillez, son frecuentemente usados para abordar una gran variedad de problemas de naturaleza real en ingeniería y ciencias sociales, lo que ha permitido a empresas y organizaciones importantes beneficios y ahorros asociados a su utilización.

La Programación Lineal es un procedimiento o algoritmo matemático mediante el cual se resuelve un problema indeterminado, formulado a través de ecuaciones lineales, optimizando la función objetivo, también lineal. Consiste en optimizar (minimizar o maximizar) una función lineal, denominada función objetivo, de tal forma que las variables de dicha función estén sujetas a una serie de restricciones que expresamos mediante un sistema de inecuaciones lineales. Esto se puede ver en su generalización matricial en la Tabla 11

Maximización	Minimización
Maximizar: $c^T x$ sujeto a $Ax \geq b ; x \geq 0$	Minimizar: $c^T x$ sujeto a $Ax \leq b ; x \geq 0$

**Tabla 11: Generalización de la Programación Lineal**

Gráficamente esto se convierte en encontrar el máximo o mínimo en una región factible como la mostrada en la Ilustración 27



**Ilustración 27: Región Factible Programación entera**

En particular para este proyecto se abordarán los temas de planificación de capacidades de los recursos humanos con un modelo de programación lineal entera.

### **5.5.1. Programación Lineal Entera**

En algunos casos se requiere que la solución óptima se componga de valores enteros para algunas de las variables. La resolución de este problema se obtiene analizando las posibles alternativas de valores enteros de esas variables en un entorno alrededor de la solución obtenida considerando las variables reales. Muchas veces la solución del programa lineal truncado está lejos de ser el óptimo entero, por lo que se hace necesario usar algún algoritmo para hallar esta solución de forma exacta. El más famoso es el método de 'Ramificar y Acotar' (Branch and Bound por su nombre en inglés). El método de Ramificar y Acotar parte de la adición de nuevas restricciones para cada variable de decisión (acotar) que al ser evaluado independientemente (ramificar) lleva al óptimo entero.

## **6. Planteamiento Estratégico**

Para abordar el planteamiento estratégico del Hospital Luis Calvo Mackenna se comenzará hablando de posicionamiento estratégico utilizando los conceptos expuestos por Porter (Porter, 1996) y Hax (Hax, 2010) en el modelo Delta.

Luego, utilizando la metodología de Balanced Scorecard (BSC) o Cuadro de Mando Integral (Kaplan & Norton, The Balanced Scorecard: Translating Strategy to Action, 1996) en conjunto a los Mapas Estratégicos (Kaplan & Norton, 2001) se podrá conectar la estrategia propuesta en base a la visión y misión del hospital con acciones, su ejecución y la medición de resultados.

### **6.1. Eficacia Operacional**

La Eficacia Operacional significa realizar actividades similares de mejor manera que los rivales. El posicionamiento estratégico, en cambio, significa realizar actividades diferentes a las de los rivales o llevar a cabo actividades similares de diferentes maneras. La Eficacia Operacional no es una estrategia en sí. Si bien es necesaria, no es suficiente, ya que generalmente ésta por sí sola no se traduce en términos de una rentabilidad sostenible en el tiempo.

Por otra parte, Porter define algunas ventajas competitivas que pueden ser fuentes de estrategias sustentables en el tiempo.

### **6.2. Estrategias competitivas genéricas**

Las ventajas competitivas son la base para obtener un desempeño sobre el promedio dentro de una industria. De acuerdo a Porter, la estrategia competitiva toma acciones ofensivas o defensivas para crear una posición defendible en una industria, con la finalidad de hacer frente, con éxito, a las fuerzas competitivas y generar un retorno sobre la inversión. Según Michael Porter: “la base del desempeño sobre el promedio dentro de una industria es la ventaja competitiva sostenible”.

Hay tres tipos básicos de ventaja competitiva: Liderazgo por costo, diferenciación y enfoque

### **Liderazgo por costo**

- Lograr Liderazgo por costo significa que una empresa se establece como el productor de más bajo costo en su industria.
- Si más de una compañía intenta alcanzar liderazgo por costo al mismo tiempo, este es generalmente desastroso por la guerra de costos
- Logrado a menudo a través de economías a escala.

### **Diferenciación**

- Lograr diferenciación significa que una firma intenta ser única en su industria en algunas dimensiones que son apreciadas extensamente por los compradores.
- Un diferenciador no puede ignorar su posición de costo. En todas las áreas que no afecten su diferenciación debe intentar disminuir costos; en el área de la diferenciación, los costos deben ser menores que la percepción de precio adicional que pagan los compradores por las características diferenciales.
- Las áreas de la diferenciación pueden ser: producto, distribución, ventas, comercialización, servicio, imagen, etc.

### **Enfoque**

- Lograr el enfoque significa que una firma fijó ser la mejor en un segmento o grupo de segmentos.
- 2 variantes: Enfoque por Costos y Enfoque por Diferenciación.

### 6.3. Modelo Delta

Bajo otro punto de vista, Arnoldo Hax propone el modelo Delta, que es una aproximación novedosa al desarrollo de una estrategia de negocios y a la gerencia estratégica en una economía que está cada vez más interconectada por redes de todo tipo. El modelo Delta se diferencia de los otros modelos principalmente porque se centra en el cliente y no en los competidores. Esta visión permite generar condiciones para que las empresas puedan desarrollar relaciones a largo plazo con sus clientes. Otro aspecto distintivo de este modelo es que provee una guía de cómo se debe seleccionar el posicionamiento estratégico del negocio y además provee herramientas analíticas para alcanzarlo.

El modelo Delta ofrece tres opciones de estrategia para acercarse a los clientes que son: mejor producto, solución total al cliente y lock-in sistémico. Tal como se muestra en la Ilustración 28, cada una de estas estrategias se encuentra posicionada en un extremo de la figura.



Ilustración 28: Estrategias de Hax (Hax, 2010)

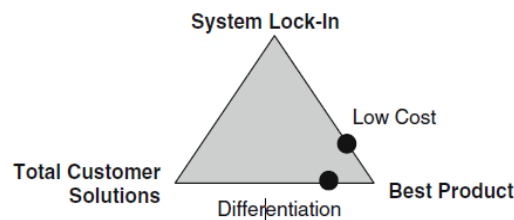
En la estrategia de **mejor producto**, los clientes van a la organización por su superioridad en oferta de precios o por aspectos relacionados con la funcionalidad, marca, o apariencia de los productos lo cual genera una diferenciación con la competencia. En el caso de **solución total al cliente**, lo



clientes se sienten atraídos porque la organización puede proveerles una reducción en los costos del clientes o un aumento en sus utilidades. Por último con el **Lock-in Sistémico**, la organización ha generado un nivel de dominación suficientemente fuerte de modo que los clientes no tienen otra opción más que quedarse con dicha empresa. (Hax, 2010)

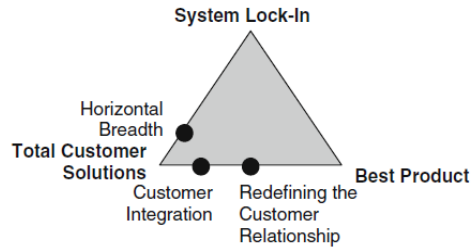
Asimismo, cada estrategia tiene definidas las competencias necesarias para soportarla; ellas se definen a continuación:

**Mejor Producto:** el cliente se siente atraído por las características inherentes del producto ofrecido. Esto se puede lograr a través de los bajos costos –lo que permite ofrecer precios menores que la competencia a través de una infraestructura eficiente– o por la oferta de un producto diferenciado que el cliente valora y por ende está dispuesto a pagar más.



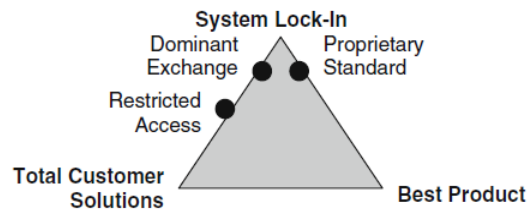
**Ilustración 29: Estrategia de Mejor Producto y sus Competencias necesarias (Hax, 2010)**

**Solución total al cliente:** la relación estrecha con los clientes se logra a través de la potenciación de las capacidades de los clientes ofreciéndoles una solución integral que ataque sus necesidades críticas. Esto se logra teniendo una relación cercana con el cliente (*Redefining the Customer Relationship*), o por la transferencia de capacidades y conocimiento (*Customer Integration*), o por el suministro de un espectro amplio de productos y servicios que satisfagan casi todas las necesidades (*Horizontal Breadth*).



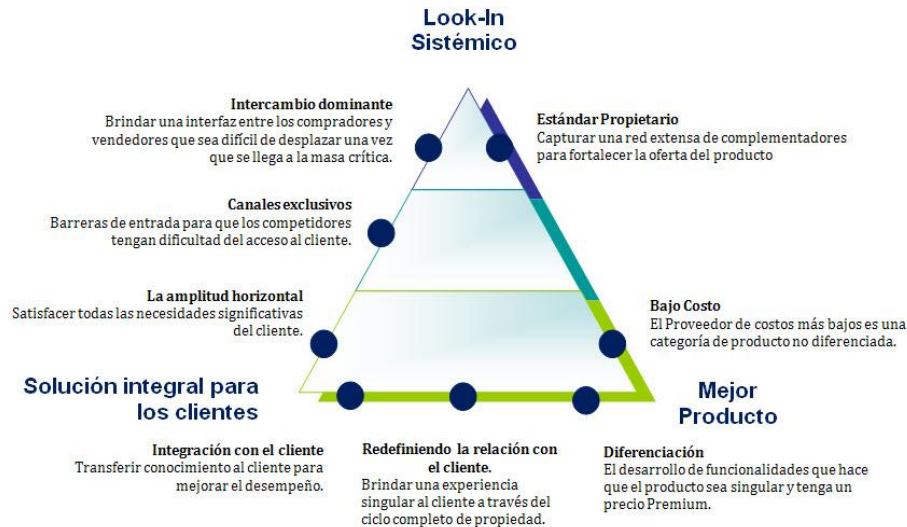
**Ilustración 30: Estrategia Solución Total al Cliente y sus Competencias (Hax, 2010)**

**Lock-in Sistémico:** la organización alcanza un nivel dominante del mercado lo que constituye un liderazgo incontestable. Esto se logra a través del desarrollo y propiedad de los estándares de la industria (*Proprietary Standard*), por convertirse en la interfaz entre los clientes y los proveedores (*Dominant Exchange*) y/o por convertirse en el único proveedor de las necesidades de los clientes (*Restricted Access*).



**Ilustración 31: Estrategia Lock-in Sistémico y sus Competencias (Hax, 2010)**

A continuación, en la Ilustración 32, se muestra un resumen de las estrategias, las competencias requeridas y una breve descripción.



**Ilustración 32: Identificando las competencias del negocio – Framework sobre las ocho posiciones estratégicas (Hax, 2010)**

La estrategia de Mejor Producto, está enfocada en el formato clásico de competencia, donde los clientes se sienten atraídos por las características inherentes del producto ya sea por sus bajos costos y/o por la diferenciación.

Esta visión esta enfocada hacia el interior de la empresa, es decir, la atención está centrada en la economía de los productos, la cadena de valor y la habilidad para desarrollar nuevas capacidades. Dado este enfoque, las estrategias están alineadas con una cadena de valor eficiente, que garantice bajos costos.

Al analizar en detalle el modelo, se observa cómo está enfocado a cualquier organización que busca ganancias. Sin embargo, para los organismos públicos el enfoque que se da a la estrategia es levemente diferente ya que su fin último no es el lucro, sino otros objetivos como un servicio de calidad para sus clientes.

Es por ello que dentro del trabajo de Arnoldo Hax (Hax, 2010) se propone una adaptación del Modelo Delta a este tipo de organizaciones. Aquí cada una de las posibles estrategias varían levemente tal como se puede ver en detalle en la

Ilustración 33

El objetivo de una entidad pública no es obtener mayores rentabilidades que la competencia, sino que tener una rentabilidad social más alta, vale decir, para el caso de un hospital, atender a una mayor cantidad de pacientes con una atención de de calidad con un presupuesto fijo impuesto por el Ministerio. Es por esto que es de vital importancia que sus tareas y/o procesos sean ejecutados de forma eficiente, es decir, llevar a la práctica dentro del trabajo diario las mejoras prácticas para cada una de sus tareas. Se debe buscar el mejorar sus procesos para maximizar el aprovechamiento de los recursos limitados que le son asignados.



**Ilustración 33: Modelo Delta adaptado a Organizaciones sin Fines de Lucro (Hax, 2010)**

Dentro de lo anteriormente expuesto, la estrategia de Mejor producto y tiene 2 estrategias posibles: eficacia administrativa y diferenciación

#### **6.4. Eficacia Administrativa u Operacional HLCCM**

Partiendo de las definiciones teóricas anteriormente descritas, el posicionamiento estratégico de Hospital Luis Calvo Mackenna corresponde, como ya fue mencionado, a la **Eficacia Administrativa u Operacional** según sea el Modelo Delta o Porter respectivamente. Esta conclusión se debe a que el hospital

está en la búsqueda constante de mejorar sus procesos internos para que sean más eficientes y poder así brindar un mejor servicio a sus pacientes.

Por último, definir la estrategia no basta para tener éxito, por lo que resulta imprescindible poder llevar a la práctica la estrategia mediante acciones definidas, de manera de poder medirla y realizar un seguimiento a la misma. Es en este sentido, que el Balanced Scorecard BSC o Control de Mando Integral es un modelo de gestión estratégica que facilita a la alta dirección la implantación de la estrategia en las organizaciones.

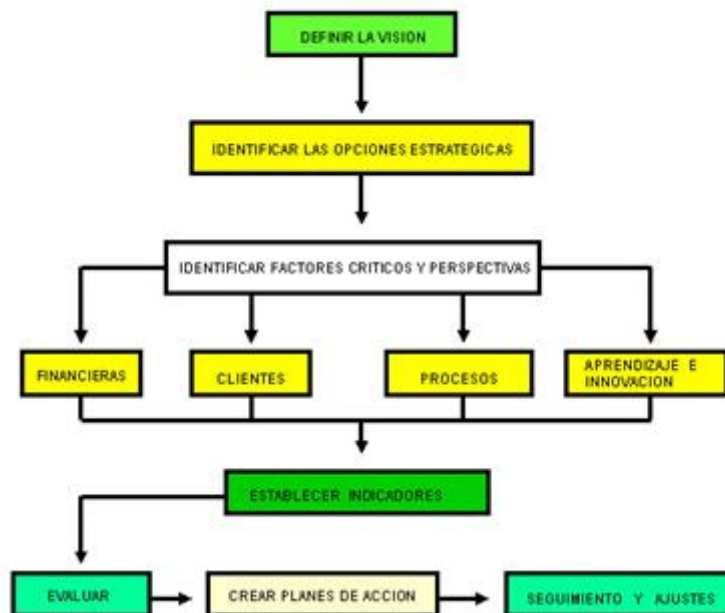
## **6.5. Balanced Scorecard**

Ante todo hay que recordar, que Control de Mando Integral o Balanced Scorecard (BSC) no es un software ni una aplicación de hoja electrónica, ni es una herramienta que permite formular estrategias, como tampoco es un instrumento de control, ni un informe periódico de gestión que se presenta a la gerencia. El BSC es una herramienta para implementar opciones estratégicas, proceso que exige que los objetivos de esas opciones puedan ser medidos apropiadamente. Esto quiere decir que el punto de partida no es crear un BSC, sino definir primero la visión de la empresa y a partir de allí identificar las opciones estratégicas que le permitirán seguir teniendo éxito ahora y en un futuro previsible. El BSC es entonces un marco conceptual que ayudará a convertir la visión y la estrategia de una empresa en mediciones y objetivos tangibles; además, es un sistema de comunicación, información y aprendizaje. La elaboración de un BSC debe originarse en la visión y estrategia de la empresa, para luego entrar a definir los factores críticos necesarios para poder alcanzar el éxito empresarial. Los indicadores de gestión que utiliza el BSC le ayudará a medir los objetivos y a definir las áreas críticas en la implementación de la estrategia. El concepto de BSC sirve de soporte a la planificación estratégica, pues busca ajustar las acciones de todos los miembros de la organización a los objetivos y a facilitar la ejecución de la estrategia.

Para generar un Balanced Scorecard tal como fue propuesto por Kaplan y Norton (Kaplan & Norton, 1996) se deben tener en cuenta los siguientes pasos:

- Definir la Visión y la Misión.
- Identificar opciones estratégicas.
- Identificar perspectivas: financiera, clientes, procesos, aprendizaje e innovación.
- Establecer indicadores.
- Evaluación y seguimiento constante.

Lo anteriormente indicado puede ser esquematizado en la Ilustración 34



**Ilustración 34: Diagrama Creación Balance Scorecard**

### **6.5.1. Perspectivas del Balanced Scorecard**

Tal como el nombre lo indica un Balanced Scorecard debe estar balanceado con diferentes perspectivas claves dentro de la organización. Estas son la financiera, clientes, procesos y aprendizaje e innovación

#### **6.5.1.1. Perspectiva financiera.**

Históricamente los indicadores financieros han sido los más utilizados, pues son el reflejo de lo que está ocurriendo con las inversiones y el valor agregado económico; de hecho, todas las medidas que forman parte de la relación causa-efecto, culminan en la mejor actuación financiera.

#### **6.5.1.2. Perspectiva del cliente.**

Como parte de un modelo de negocios, se identifica el mercado y el cliente hacia el cual se dirige el servicio o producto. La perspectiva del cliente es un reflejo del mercado en el cual se está compitiendo. Además, brinda información importante para generar, adquirir, retener y satisfacer a los clientes, obtener cuota de mercado, rentabilidad, etc. "La perspectiva del cliente permite a los directivos de unidades de negocio articular la estrategia de cliente basada en el mercado, que proporcionará unos rendimientos financieros futuros de categoría superior." (Kaplan & Norton, 1996)

#### **6.5.1.3. Perspectiva de procesos internos.**

Para alcanzar los objetivos de clientes y financieros es necesario realizar con excelencia ciertos procesos que dan vida a la empresa. Esos procesos en los que se debe ser excelente son los que identifican los directivos y ponen especial atención para que se lleven a cabo de una forma perfecta para así, influir en conseguir los objetivos de accionistas y clientes.

#### **6.5.1.4. Perspectiva de aprendizaje y crecimiento.**

En esta perspectiva debe haber un gran énfasis, sobre todo si piensan obtenerse resultados constantes a largo plazo. Aquí se identifican la infraestructura necesaria para crear valor a largo plazo. Hay que lograr formación y crecimiento en 3 áreas: personas, sistemas y clima organizacional. Normalmente son intangibles, pues son identificadores relacionados con capacitación a personas, software o desarrollos, máquinas e instalaciones, tecnología y todo lo que hay que potenciar para alcanzar los objetivos de las perspectivas anteriores.

### **6.6. Balanced Scorecard Hospital Calvo Mackenna**

Tal como fue descrito anteriormente, el desarrollo de un BSC ayuda a clarificar la estrategia y también a comunicar la estrategia y medidas estratégicas a lo largo de la organización. Entre los elementos que están presentes en el BSC se encuentran: (i) Definir la Visión y la Misión, (ii) identificar opciones estratégicas, (iii) identificar las perspectivas, financiera, clientes, procesos, aprendizaje e innovación, (iv) establecer indicadores y (v) finalmente evaluación y seguimiento constante.

En el marco teórico establecido por Kaplan y Norton (Kaplan & Norton, 1996) la perspectiva más relevante es la financiera ya que todas las acciones se pueden traducir en un beneficio económico; sin embargo, esto ha cambiado a través del tiempo y se ha adaptado para las entidades del sector público, donde la perspectiva más relevante a medir es la satisfacción del cliente como meta para llegar a un desempeño óptimo.

#### **6.6.1. Definiendo la Visión y la Misión**

El BSC empieza a través de una buena definición de la Misión, Visión y Estrategia. En el caso del HLCM la Visión dice *“Dar un servicio pediátrico de excelencia a los niños y niñas beneficiarios del sistema público de salud, siendo hoy posible ofrecer estos servicios al mundo de los privados con humanidad,*



*calidad y excelencia”* (Hospital Luis Calvo Mackenna, 2010). La Misión expone por otro lado *“Dar un servicio pediátrico de excelencia a los niños y niñas beneficiarios del sistema público de salud, siendo hoy posible ofrecer estos servicios al mundo de los privados con humanidad, calidad y excelencia”* (Hospital Luis Calvo Mackenna, 2010)

De las afirmaciones anteriores se puede evidenciar que el hospital está en la busca de convertirse en un referente nacional en el servicio de salud pública y especialmente en el servicio pediátrico a través de atención de excelencia que puede ser traducida en eficaz y eficiente. Algunas de las estrategias para alcanzar dicha excelencia pueden ser:

- Mejorar el uso de recursos
- Mejorar la imagen del hospital.
- Disminuir costos

### **6.6.2. Identificando opciones estratégicas**

En base al Modelo Delta de Hax, anteriormente descrito, podemos deducir que la estrategia más importante para el hospital es la Eficacia Operacional y la Eficacia Administrativa. Sin embargo, desde la Visión se desprende que aparte de esta estrategia el hospital busca convertirse en un centro de excelencia, y de calidad. En base a esto, también se puede concluir que el hospital busca una estrategia de satisfacción integral para el cliente.

### **6.6.3. Perspectivas en el HLCM**

#### **6.6.3.1. Estrategia**

Para la estrategia se definieron la Eficacia Operacional y la Eficacia Administrativa por un lado y la satisfacción integral del cliente por el otro.

### **6.6.3.2. Perspectiva del cliente**

Para el cliente se fija como objetivo proveer una atención que permita al usuario mantener un buen estado de salud además de brindar la atención médica oportuna con eficiencia, calidez y calidad.

### **6.6.3.3. Perspectiva financiera**

Para la perspectiva financiera se propone una optimización en la distribución de recursos en un hospital público trae como consecuencia una reducción de costos que se traduce en un aumento de las ganancias.

Por otro lado, se pretende asegurar el uso racional y oportuno de los recursos disponibles para dar cumplimiento a las metas planteadas por los distintos servicios.

Con esto, el fin último es asegurar el un cumplimiento integral con el presupuesto del hospital, manteniendo el estado de hospital autogestionado.

### **6.6.3.4. Perspectiva procesos internos**

Para la perspectiva de los procesos internos se propone Integración e interrelación y sistematización de los diferentes procesos para lograr la satisfacción de usuarios internos.

Además, se propone incrementar rendimiento del hospital mediante procesos innovadores, ya que el hospital se declara a sí mismo como innovador.

Por último, el hospital debe ser un centro de excelencia en medicina pediátrica.

### 6.6.3.5. Perspectiva aprendizaje y crecimiento

Mantener a los trabajadores motivados y opciones de crecimiento personal. Capacitación de los empleados en nuevas destrezas y habilidades y motivación del personal.

Además, se debe contar con el recurso humano especializado para brindar una atención oportuna y de calidad.

Finalmente, mejorar la calidad de equipamiento en infraestructura de diagnóstico constantemente para ser un centro de salud de primera calidad.

Todo lo anteriormente expuesto se puede esquematizar y ver cómo estas diferentes perspectivas se relacionan entre sí para generar la siguiente ilustración donde se relacionan estas cuatro perspectivas

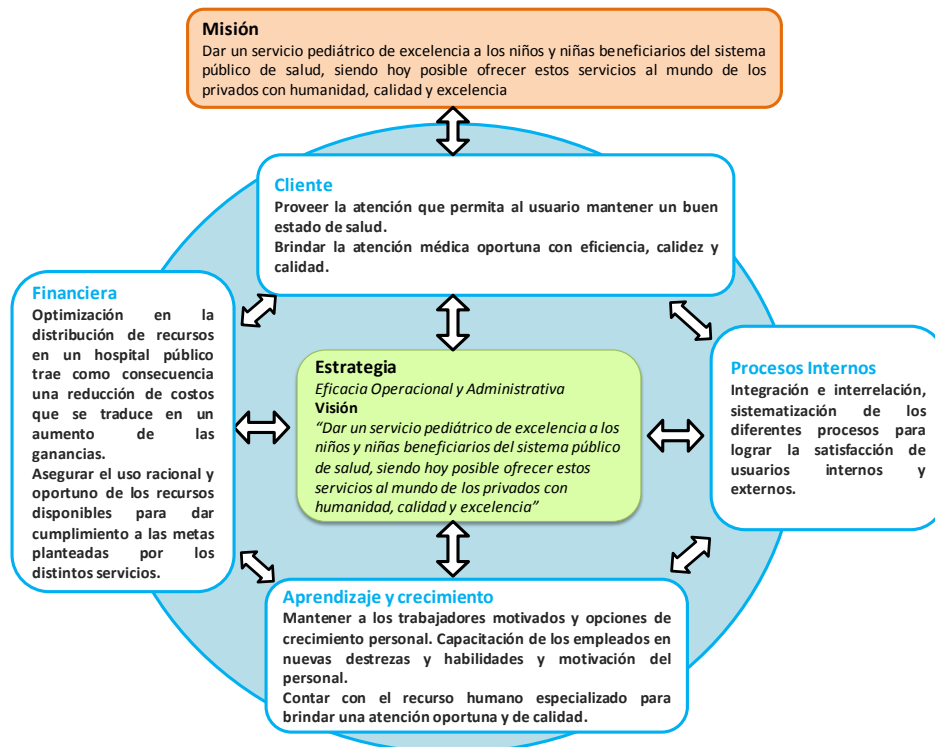


Ilustración 35: Relación de las cuatro perspectivas

### **6.6.3.6. Mapa Estratégico**

El Mapa Estratégico constituye uno de los elementos básicos sobre los cuales se sustenta el BSC. La configuración del mismo no es fácil; requiere de una buena definición de los objetivos que se pretenden alcanzar y que estos estén verdaderamente alineados con la estrategia. Es importante hacer hincapié en que las relaciones que se establecen en un mapa de estas características son entre objetivos y no entre indicadores; éstos últimos nos sirven para la medición de los objetivos y serán detallados en el siguiente punto.

Para el Mapa Estratégico se usan vínculos causa-efecto que desarrollan el camino concreto que seguiremos para alcanzar la estrategia. Sin esta serie de conexiones, sólo queda una colección de indicadores sueltos.

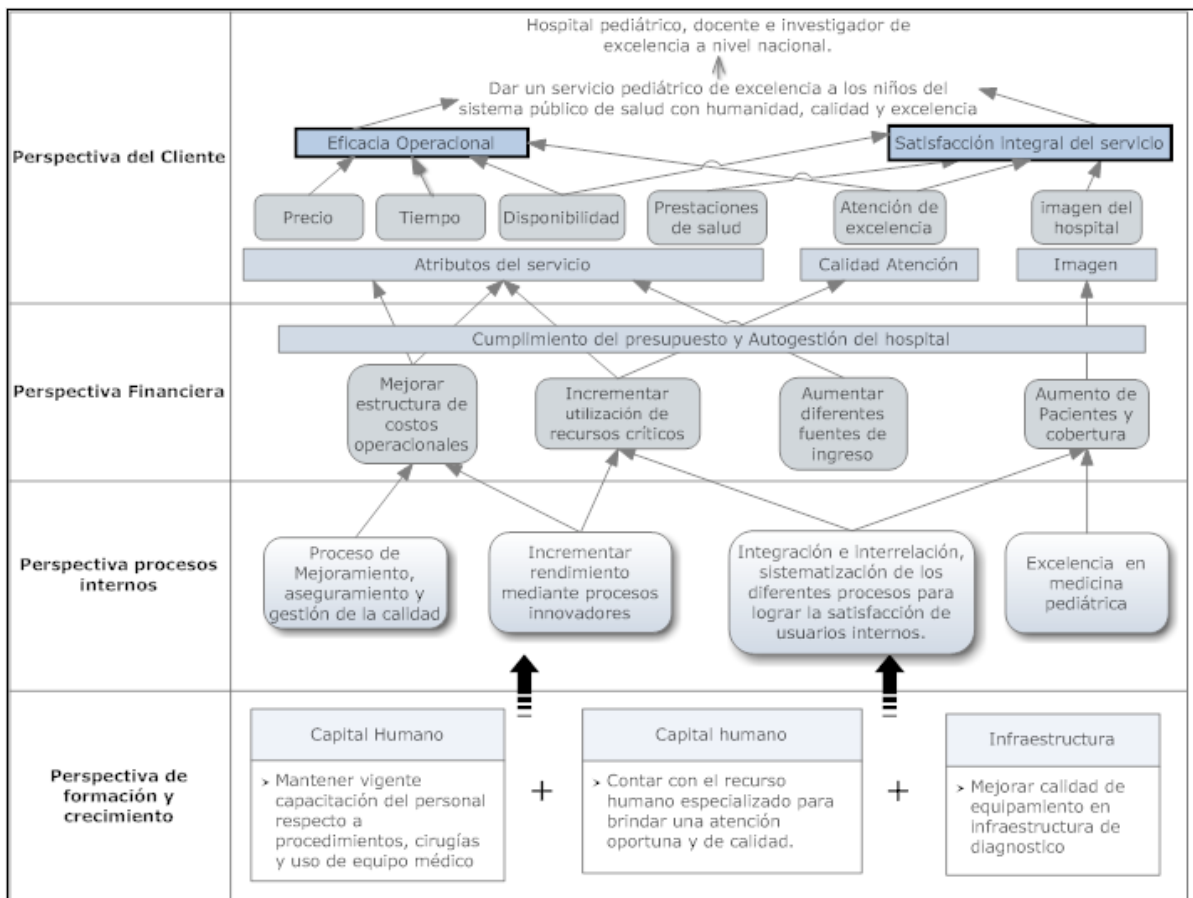
En base a la Visión y Misión y la Estrategia propuesta por el hospital, se proponen varios atributos del servicio prestado al cliente. Estos apoyan a la estrategia. Como se dijo anteriormente, el foco de una organización pública son sus clientes; sin embargo la perspectiva financiera da el sustento para que se puede llevar a cabo al estrategia.

Dentro de los procesos internos, hay una cantidad de objetivos que ayudan a mejorar el desempeño del hospital. Entre ellos, el mejoramiento continuo y gestión de la calidad, la interrelación de los diferentes procesos dentro del hospital, la excelencia de sus médicos y la innovación constante.

Por otra parte, la perspectiva de formación y crecimiento apoya a estos objetivos de procesos mediante nueva infraestructura y equipos, además de constante perfeccionamiento por parte de los médicos así como del resto del personal de apoyo del hospital.

Finalmente, y como fue mencionado anteriormente, una vez determinados los objetivos que se quieren para cada una de las perspectivas, se desarrollan las iniciativas. Estas iniciativas deben estar alineadas lógicamente a través de un

análisis causa-efecto con lo que se espera cumplir. Todo esto puede ser visualizado a través de un mapa estratégico.



**Ilustración 36: Mapa estratégico Hospital Luis Calvo Mackenna**

#### 6.6.4. Establecer indicadores

Finalmente los objetivos propuestos en el mapa estratégico deben ser medidos para poder hacerles un seguimiento, evaluarlos y crear o corregir planes de acción para alcanzar los objetivos planteados.

#### 6.6.4.1. Perspectiva del Cliente.

<b>Objetivo</b>	Eficacia Operacional
Indicador	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento en la utilización de los recursos</li> <li>• Disminución de los controles hospitalaria.</li> <li>• Disminución del desabastecimiento de insumos.</li> </ul>
<b>Meta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 80% de primera consulta y 20% de controles.</li> <li>• Disminución de la morbilidad mortal de la población asegurada.</li> <li>• Disminución de la tasa de cancelación en pabellones quirúrgicos</li> </ul>
Procesos relacionados	Consulta externa, servicios relacionados (pabellones, farmacias y laboratorios, etc.)
Estrategias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar programas de prevención en los primeros niveles de atención.</li> <li>• Educar al usuario para el manejo de su salud.</li> <li>• Aumentar la eficiencia de los pabellones.</li> </ul>

<b>Objetivo</b>	Brindar la atención médica oportuna con eficiencia, calidez y calidad.
Indicador	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivel de satisfacción del usuario</li> <li>• Total de atenciones</li> <li>• Total de cirugías electivas</li> <li>• Total cirugías no electivas</li> </ul>
<b>Metas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lograr que el 90 % de los encuestados manifiesten satisfacción en la atención.</li> <li>• Garantizar que las atenciones sean agendadas (90%)</li> <li>• Lograr que el tiempo de espera en cirugía no electiva baje a menos de 1 meses (90%).</li> <li>• Lograr que el tiempo de espera en cirugía electiva baje a menos de 3 meses (90%)</li> </ul>
Procesos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hospitalización expedita</li> <li>• Consultas oportuna</li> <li>• Mayor calidez, aparte de pericia y atención oportuna en la sala de urgencia.</li> <li>• Administrativo.</li> </ul>

Estrategias	Contar con el recurso humano capacitado con los recursos financieros y físicos, tecnológicos a través de programas de capacitación.
-------------	---

#### 6.6.4.2. Perspectiva Financiera.

<b>Objetivo</b>	Asegurar el uso racional y oportuno de los recursos disponibles para dar cumplimiento a las metas planteadas por los servicios.
Indicador	Porcentaje de ejecución presupuestaria en el año fiscal en servicios más simples.
<b>Meta</b>	Alcanzar al finalizar la vigencia fiscal una ejecución presupuestaria del 90%.
Procesos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Servicio</li> <li>• Presupuesto</li> <li>• Compras/inventario.</li> <li>• Control fiscal.</li> <li>• Farmacia.</li> </ul>
Estrategias	Desarrollo del presupuesto a base de las metas con retroalimentación periódica del % de ejecución presupuestario y capacitación sobre el proceso de las partes involucradas.

<b>Objetivo</b>	Asegurar el uso racional y oportuno de los recursos disponibles para dar cumplimiento a las metas planteadas.
Indicador	Porcentaje de ejecución presupuestaria en el año fiscal en los servicios más complejos
<b>Meta</b>	Alcanzar al finalizar la vigencia fiscal una ejecución presupuestaria del 80% en la atención de alta complejidad.

Procesos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Urgencias</li> <li>• Atención Cerrada</li> <li>• Hospitalización.</li> <li>• Soporte técnico y quirúrgico</li> </ul>
Estrategias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Articulación de la red de servicios.</li> <li>• Dotación de capacidad de respuesta al nivel</li> <li>• Capacitación al recurso humano para la utilización racional de los recursos.</li> </ul>

#### 6.6.4.3. Perspectiva de los Procesos Internos

<b>Objetivo</b>	Integración e interrelación, sistematización de los diferentes procesos para lograr la satisfacción de usuarios internos.
Indicador	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Productividad más calidad de atención.</li> <li>• Encuestas de satisfacción.</li> </ul>
<b>Meta</b>	Lograr el objetivo con medición del tiempo de respuesta y la producción de cada servicio.
Procesos	N/A
Estrategias	Normalización de los diferentes procesos, Capacitación.

<b>Objetivo</b>	Incrementar rendimiento mediante procesos innovadores
Indicador	Número de proyectos de investigación.
<b>Meta</b>	Tener un número de proyectos de investigación.
Procesos	Investigación
Estrategias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hospital docente.</li> <li>• Alianza Universidad de Chile</li> <li>• Alianza otras instituciones</li> </ul>



#### 6.6.4.4. Perspectivas de Aprendizaje y crecimiento

<b>Objetivo</b>	Contar con el recurso humano especializado para brindar una atención oportuna y de calidad.
Indicador	<ul style="list-style-type: none"><li>• Número de capacitación y cursos de perfeccionamiento.</li><li>• Número de dotación de recursos humanos para suplir la demanda.</li><li>• Utilización del recurso humano.</li><li>• Evaluación del desempeño.</li></ul>
<b>Meta</b>	Formar de manera programada el recurso humano especializado necesario para cubrir necesidades y mantener capacitado al ya existente.
Procesos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Capacitación</li><li>• Selección de personal.</li></ul>
Estrategias	<ul style="list-style-type: none"><li>• Programas de becas.</li><li>• Sistema de incentivos</li><li>• Concurso de posiciones.</li></ul>

## 7. Modelo de negocio del Hospital Dr. Luis Calvo

### Mackenna

De lo anterior podemos desprender el modelo de negocio del hospital el cual, y de acuerdo al marco de referencia de Kagermann (Kagermann, Johnson, & Christensen, 2008), se emplean cuatro elementos relacionados que, en su conjunto, crean y entregan valor. Estos elementos son: Valor al Cliente, Fórmula de Beneficio, Recursos Claves y Procesos Claves.

#### 7.1. Creación de Valor al Cliente

El primer punto del modelo de negocios, y el esencial, es la creación de Valor al Cliente (*Customer Value Proposition –CVP*). Para esto es de suma importancia identificar cuál es el verdadero cliente objetivo del hospital, ya que una equivocada selección o determinación de este tendrá como resultado un modelo de negocio erróneo. Sin lugar a dudas el cliente más relevante para un hospital público son sus pacientes.

Una vez definido este cliente, es necesario identificar el CVP de éste, que en el caso del Hospital Calvo Mackenna puede ser, a grandes rasgos definido como “Ofrecer un servicio de atención médica de calidad y con trato humanitario para cada uno de sus pacientes” tal como se indica en la misión del hospital. Pero si se profundiza en este tema es importante definir cuál es el **trabajo a realizar** y la **oferta**.

**Trabajo a realizar:** Realizar una atención de salud de calidad en urgencia, atención ambulatoria y atención cerrada, acorde a las necesidades de la población

**Oferta:** Atención de forma oportuna y de calidad a cada uno de los pacientes del hospital.

Esta oferta muestra cuál va a ser la propuesta de valor a los pacientes y está totalmente alineada con lo propuesto en el Balanced Scorecard. Por lo tanto,

enfocando más la oferta al área del proyecto, la propuesta de valor para los clientes es: Una mejor calidad de atención en urgencia, ofreciendo una atención oportuna para cada uno de los pacientes que lleguen a la sala de urgencia.

## **7.2. Fórmula de Beneficio**

Este segundo elemento busca definir la fórmula mediante la cual la empresa genera un beneficio para sí misma y provee valor a sus clientes a través de los siguientes puntos: Modelo de ingresos, Estructura de costos, Modelo marginal, Velocidad de los recursos.

Este beneficio viene dado por una mejora en la asignación de los recursos para cada una de las líneas de atención, lo que trae como consecuencia una reducción de costos por una mejor utilización de los recursos, y por ende, una mejor situación financiera. De igual forma, al pasar de una atención reactiva a proactiva es posible aumentar los ingresos debido al número de pacientes atendidos que son pagados por FONASA.

## **7.3. Recursos Claves**

Dentro de un hospital los Recursos Claves que generan valor a los clientes son: cuerpo médico, enfermeras, unidades clínicas, pabellones, sistemas de información entre otros. Es importante que se conozca la interacción entre ellos para poder generar valor a los clientes; por ejemplo, en el caso de atención de urgencia, los pacientes fluyen a través de distintos niveles siendo atendidos por enfermeras, médicos y técnicos; por otro lado, cada uno de éstos recursos interactúa con los insumos del hospital (medicinas, camas, máquinas de rayos, entre otros).

## **7.4. Procesos Claves**

Por último se tienen los Procesos Claves de la empresa, que en el caso del hospital son: la atención de urgencia, atención electiva, gestión de la información, RRHH, normas del Ministerio de Salud.

Los elementos anteriores se pueden resumir en la Ilustración 37 con cada una de sus interacciones

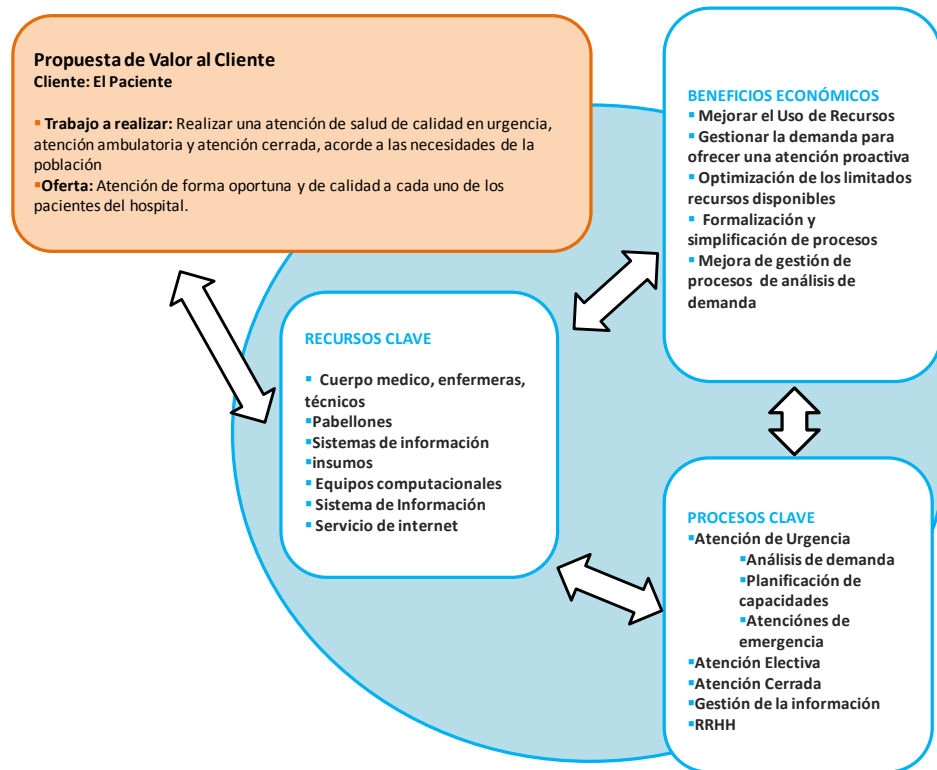


Ilustración 37: Modelo de negocio HLCM

## 8. Arquitectura de Macro-procesos

La arquitectura diseñada se basa en los macro-procesos propuestos por Barros (Barros, Ingeniería de Negocios, 2009) expuestos anteriormente en el capítulo 5 del marco teórico. Dichos macro-procesos corresponden a patrones de procesos observados en la mayoría de las empresas que presentan buenas prácticas y, por lo tanto, son extensibles a otras empresas u organizaciones, observándose que al ser implementados correctamente, dichas empresas generan eficiencia y eficacia tanto estratégica, táctica y operacionalmente. La arquitectura planteada para el Hospital Luis Calvo Mackenna se presenta en la Ilustración 38

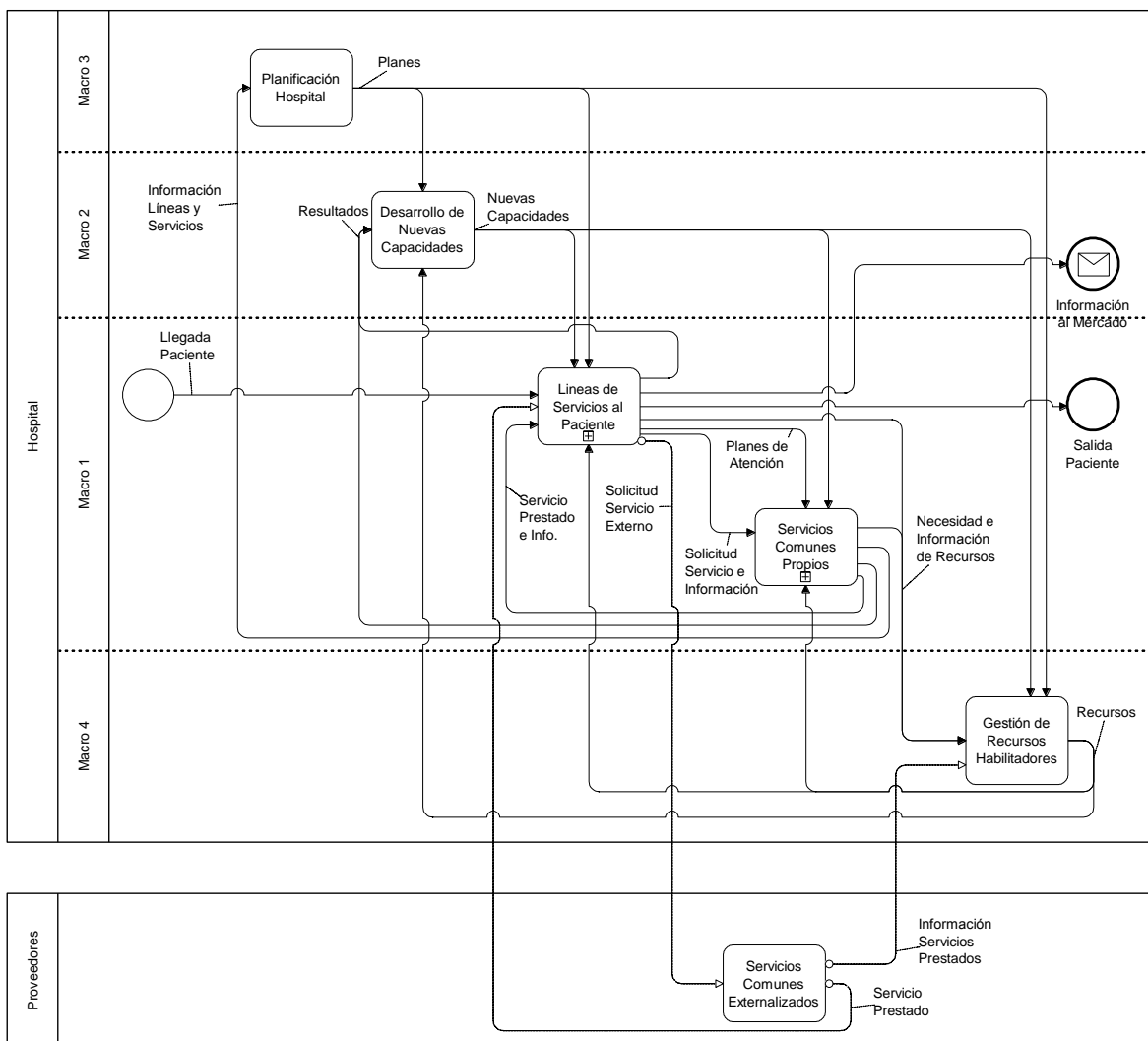


Ilustración 38: Arquitectura de Macro-procesos (Barros & Julio, 2010)

Esta arquitectura fue tomada en base a lo expuesto en Barros y Julio (Barros & Julio, 2010). Como se puede observar en la gráfica anterior la arquitectura se asemeja bastante a la propuesta por el patrón ya que las macros correspondientes a la planificación estratégica (Macro 3), desarrollo de nuevas capacidades (Macro 2) y gestión de recursos habilitantes (Macro 4) no sufrieron ninguna modificación, ni de forma ni fondo, ya que únicamente fueron adecuadas sus descripciones a la realidad de un Hospital; por ejemplo: la planificación estratégica fue modificada por planificación del hospital.

Dentro de esta arquitectura se identificaron como fundamentales las actividades de la Macro 1. El presente trabajo se va a centrar principalmente en la macro 1, la cual se explicará con mayor detalle el porqué se realizó una separación entre líneas de servicios al paciente y servicios comunes propios. Para ello, se explicará en detalle qué significa cada uno.

El macro-proceso de líneas de servicios a los pacientes consiste en las áreas donde los pacientes pueden interactuar con el hospital, es decir, la atención de urgencia, atención ambulatoria electiva, atención cerrada y por último oferta de otros servicios. La oferta de otros servicios es un proceso más administrativo que tiene que ver con ofertas de ISAPRES, convenios FONASA entre otras.

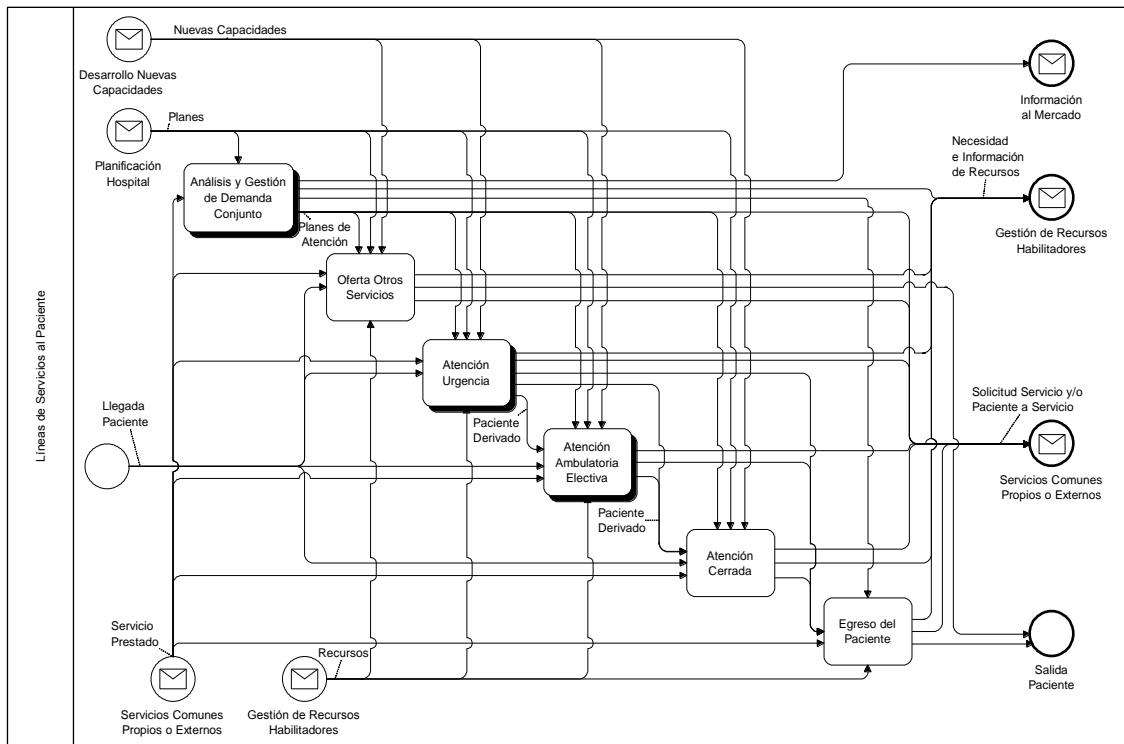
Por otra parte, el macro-proceso denominado servicios comunes propios, corresponde a los servicios compartidos por las diferentes atenciones. Corresponde a servicios para atender a los pacientes, como por ejemplo, Farmacia, imagenología, entre otros. Asimismo, siguiendo esta misma línea, el proceso de mantención estado, se encuentra dentro de estos servicios comunes, ya que corresponde a un proceso que interactúa con todos los demás.

Dentro de las cadenas de valor, en el hospital pueden distinguirse 2 procesos fundamentales que vale la pena detallar:

- Líneas de Servicios al Paciente
- Servicios Comunes Propios

## 8.1. Líneas de Servicios de Pacientes

Este proceso tiene como entrada principal la llegada y salida el paciente después de haber sido realizados los procesos de atención hospitalaria necesaria.



**Ilustración 39: Línea de servicios al paciente (Barros & Julio, Application of Enterprise and Process Architecture patterns in Hospitals, 2010)**

### 8.1.1. Análisis y Gestión de Demanda Conjunto

El Análisis de Demanda Conjunto, como será mencionado posteriormente en esta tesis, es la principal sugerencia de proceso al Hospital Luis Calvo Mackenna y punto principal de este proyecto ya que, se presenta como una alternativa a la situación actual del Hospital, debido a que rompe el paradigma de que cada tipo de atención lleve a cabo sus diferentes análisis y pronósticos, así se presenta un proceso único y factorizado de las diferentes atenciones que puede tener el paciente en el Hospital.

Con este proceso, lo que se pretende es instaurar en el Hospital las metodologías a seguir para poder analizar a la demanda y poder generar planes de atención adecuados para los diferentes meses debido a que se tendrá un mayor conocimiento sobre la demanda futura y su categorización.

Es importante destacar que para el desarrollo de este proyecto se tomará como unidad piloto a la atención de urgencia.

### **8.1.2. Oferta de otros Servicios**

El proceso de Oferta de otros Servicios, es una sugerencia al Hospital Luis Calvo Mackenna y corresponde a ofrecer al público la afiliación a Fonasa y cobros de Bonos, entre otros.

Como se puede observar, es un proceso totalmente administrativo y está ligado a darles a los distintos pacientes o sus respectivos parientes, la oportunidad de realizar los diferentes trámites de FONASA o ISAPRE en el mismo Hospital.

### **8.1.3. Atención Urgencia**

La atención de urgencia corresponde al servicio primario prestado por el Hospital. Para todos los usuarios que ingresan a Urgencia, se hace una priorización de la atención por su gravedad clínica y no por su orden de llegada.

Antes de consultar al Servicio de Urgencia del Hospital, se debe consultar en el SAPU de comuna, más cercano al domicilio del paciente. Sin embargo en la realidad no siempre ocurre así ya que gran parte de la población acude directamente al Servicio de Urgencia del Hospital.

Si todos los usuarios llegan a los Servicios de Urgencia por cosas menores, estos estarán permanentemente colapsados y, en cierta medida, esto es lo que pasa en la realidad.



La atención de urgencia es una de los más complejos de administrar dado que la demanda es estocástica; sin embargo, si se mira a nivel agregado de semanas o meses, se puede distinguir un cierto patrón de comportamiento y una estacionalidad. Debido a que se debe atender en forma oportuna toda la demanda que se genera, son muy importantes los niveles de servicio y los tiempos de espera de los pacientes, ya que como es un servicio público este debe estar comprometido con el bienestar del país.

Un pronóstico de la demanda y una segmentación adecuada podría impactar positivamente en la calidad de servicio prestado por la atención de urgencia, debido a que se podrán optimizar el uso de los recursos.

#### **8.1.4. Atención Ambulatoria Electiva**

La Atención Ambulatoria, tal como su nombre lo indica, es la atención que reciben los pacientes en los servicios de consultas médicas. Esta tiene múltiples servicios, como traumatología, oftalmología, pediatría, etc.

En general, estas consultas son planificadas ya que se reserva una hora de consulta para poder ser atendido ya sea directamente en el hospital o en los consultorios. Sin embargo, igual se utilizan recursos y, en general estas atenciones están colapsadas, postergando estas prestaciones de salud para varios días, o incluso, semanas más tarde.

Una adecuada predicción de demanda podría apoyar la planificación de esta área para generar una mejor gestión, ya que en conjunto con un análisis de capacidad podrá detectar los mayores cuellos de botella. Sin embargo este proyecto escapa a las posibilidades reales de este trabajo por lo que se deja abierta la posibilidad para hacerlo a futuro.

#### **8.1.5. Atención Cerrada**

La atención hospitalización difiere de la demás líneas de servicio porque aquí se utilizan recursos adicionales, dado que aquí interviene el equipo cama.

Cabe destacar que el equipo cama no sólo es el mueble para dormir, sino que todo el equipo médico asociado a éste que debe estar presente velando por la salud del paciente. Estos recursos son un cuello de botella en la línea de atención de pacientes.

Para mejorar la eficiencia operacional del hospital, no sólo se deben comprar las camas, sino compatibilizar con los horarios de trabajos de todo el equipo cama o contratar más médicos y enfermeras, por lo que en la práctica es muy costoso atacarlo de esta manera. Es por esto que el HLCM está apuntando a que la mayoría de los procedimientos sean ambulatorios, incluyendo operaciones complejas, para así tener una mayor capacidad de atención a la población con la misma cantidad de recursos. El HLCM es pionero en esta área. Esto ha demostrado ser una forma eficiente de aumentar el volumen de atenciones de pacientes.

Dentro de este punto, un modelo de predicción de demanda en conjunto con un análisis de capacidades ayudará a estar mejor preparado para el futuro y para mejorar el funcionamiento de esta área.

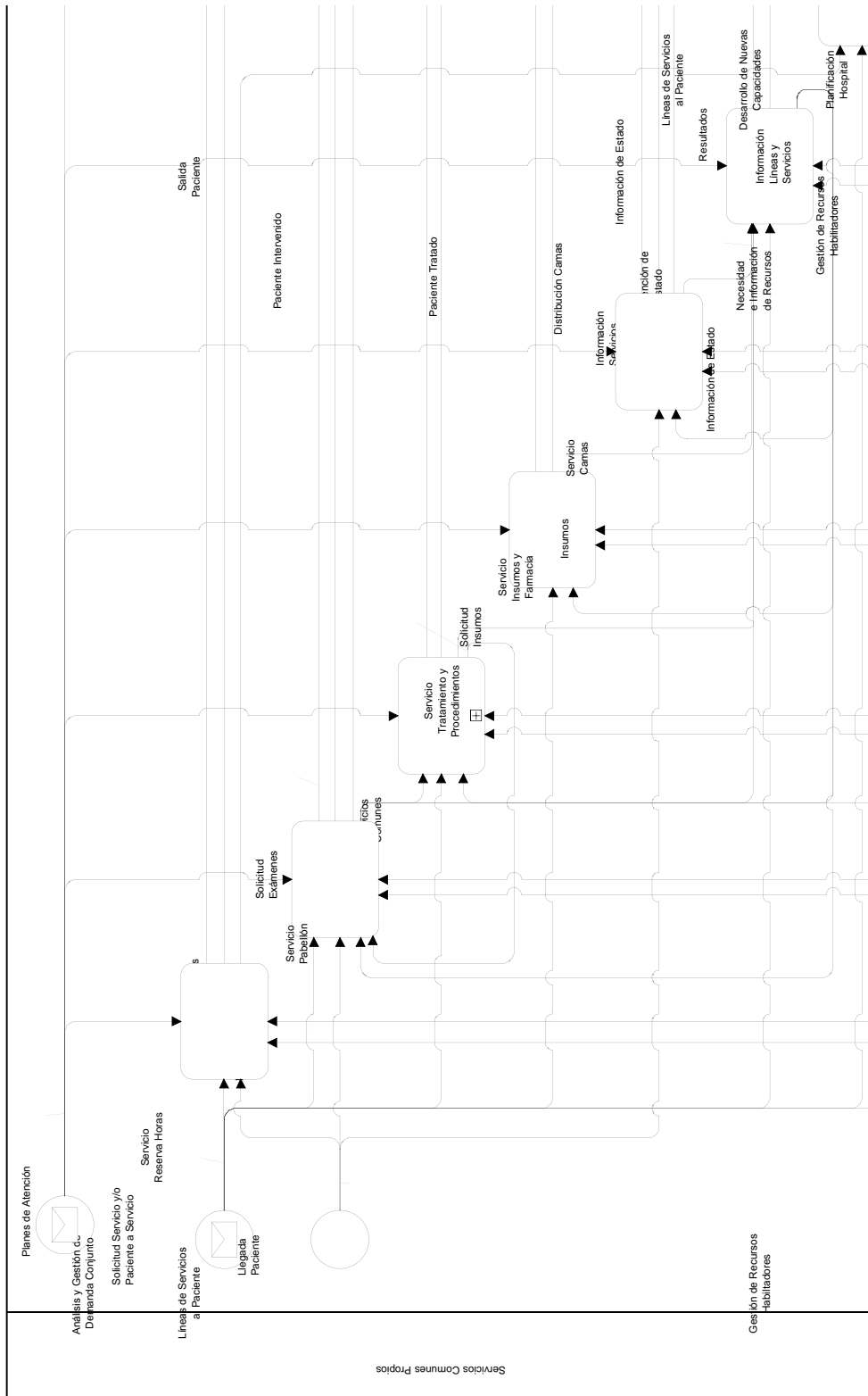
## **8.2. Servicios Comunes Propios**

Dentro de los servicios comunes propios, se encuentran representados los procesos de apoyo necesarios para llevar a cabo las atenciones descritas anteriormente. Sin embargo, en la

Ilustración 40 representa la situación ideal y el camino que debiera seguir el Hospital Luis Calvo Mackenna para recoger mejores prácticas. Otro punto importante para este proyecto es detallar el porqué se colocó el proceso de “mantención estado” dentro de este macro proceso.

Esta propuesta representa la solución ideal para los servicios compartidos, ya que presenta, de forma única y centralizada, los diferentes procesos de apoyo que pueda requerir algún tipo de atención en algún momento. Para que se pueda entender en mayor detalle la propuesta, se tomará el caso de Servicio de Cama,

que corresponde a la asignación de camas a los pacientes que requieren ser hospitalizados. En este momento, en el hospital existen a lo menos dos salas de Hospitalizaciones, una para las Atenciones de Urgencias y otra para las Atenciones Cerradas, lo que se puede determinar que es una mala práctica, debido a que la asignación no se realiza de forma óptima. Este punto ya fue planteado al Hospital, por lo tanto, se espera lograr crear a mediano plazo el proceso único de Servicio de Camas para el Hospital.



**Ilustración 40: Servicios comunes propios (Barros & Julio, Application of Enterprise and Process Architecture patterns in Hospitals, 2010)**

Asimismo, y como se muestra en la ilustración superior, en el primer lugar tenemos el proceso de reserva de horas único para el hospital, el cual no existe en la actualidad y correspondería a un segundo paso a seguir una vez establecido formalmente el servicio de camas, ya que mejoraría el trato a los pacientes debido a que existiría un único canal de reserva de hora en el hospital y, por ende, se optimizaría mejor la asignación de recursos de las diferentes atenciones y recursos necesarios.

Como también se observa en la ilustración anterior, el último proceso dentro de los servicios compartidos es el de mantención estado. Para entender porqué se tomó esta decisión, se va a partir por una definición breve sobre en qué consiste la Mantención de Estado.

*Mantención Estado: corresponde a un proceso al cual le son entregados como entrada los diferentes cambios ocurridos en otros procesos y tiene como salida señales de estado relevantes para cada uno de los procesos encontrados con estado actual de la gestión. También puede considerarse como un repositorio de datos común para todos los procesos.*

De la definición descrita en el párrafo anterior, se puede concluir que la “Mantención de Estado” corresponde al repositorio común para todos los procesos internos dentro del Hospital, por lo tanto fue incluido dentro de este macro-proceso.

El resto de las actividades, no serán explicadas en mayor detalle ya que escapan al alcance del proyecto a realizar. Lo que sí es importante mencionar es que varias de las actividades aquí planteadas, en una situación ideal, deberían alimentarse de los planes de atención producidos a partir de una predicción y caracterización de la demanda, que viene de la línea de atención al paciente.

## **9. Rediseño de Procesos**

### **9.1. Objetivos del Proyecto**

Dada la situación mostrada con el diseño de macro-procesos y contrastándola con la problemática actual descrita en los capítulos anteriores, se observa que hay mucho por hacer dentro de la gestión de hospitales públicos en varias áreas. Sin embargo, el foco de este proyecto es el pronóstico y análisis de demanda así como una metodología para el cálculo de turnos recursos críticos, tomado como unidad de prueba la Sala de Urgencia del Hospital Luis Calvo Mackenna. Dentro de este marco, los puntos que abarcará este rediseño son predicción de demanda, caracterización de la demanda, análisis de capacidades, definición de acciones de promoción y planificación de atención y servicios.

### **9.2. Predicción la demanda**

La predicción de la demanda es un proceso fundamental ya que es este el que alimenta con información a toda la cadena de valor. Por lo tanto, una correcta predicción ayudará a aumentar la eficacia operacional y, por sobre todo, el paciente será el mayor beneficiado gracias al mejor uso de recursos

Dada la diferencia que se hace entre paciente electivos y no electivos, se debe hacer la distinción entre los modelos de predicción de demanda dado que el primero puede ser determinístico y el segundo un modelo del tipo estocástico.

Cabe destacar que pocos estudios se han hecho en esta dirección en hospitales públicos en Chile, por lo que este tema es innovador, además de ser sumamente importante para el hospital.

### **9.3. Caracterización la demanda**

No basta con tener una buena aproximación al número de pacientes que el hospital atenderá para poder generar una ventaja competitiva; se debe, además,

estar preparado para actuar frente a los distintos escenarios que el paciente requiera.

Para esto, es fundamental tener una caracterización y segmentación de la demanda para así poder estar más preparado como hospital para las diferentes atenciones que deba realizar.

#### **9.4. Análisis de Capacidades**

Una vez obtenido el pronóstico y la caracterización de la demanda, el siguiente paso lógico corresponde a analizar las capacidades necesarias para atender dicha demanda.

Durante esta etapa, es fundamental tener los recursos actuales para que, en base a estos, se proponga una distribución óptima con el fin de aumentar la eficiencia de la Sala de Urgencia.

#### **9.5. Definición de Acciones de Promoción**

Este punto corresponde a diferentes acciones que el hospital puede llevar a cabo, basándose en los pronósticos, con el fin de modificar la demanda y ajustarse lo más posible a los requerimientos de los pacientes.

#### **9.6. Planificación de Atención y Servicios**

Por último, se tiene el diseño de los diferentes planes de atención y servicios a los pacientes, los cuales permitirán atender de mejor forma a los diferentes pacientes pronosticados y caracterizados.

## **10. Rediseño en el Hospital Luis Calvo Mackenna**

En particular, para este proyecto, se introducirá un nuevo proceso llamado análisis de demanda conjunto, que deberá alimentar con información a todos los servicios que presta el hospital, Sin embargo, la poca calidad de los datos obligará a concentrar los esfuerzos en alimentar el proceso de atención de urgencia.

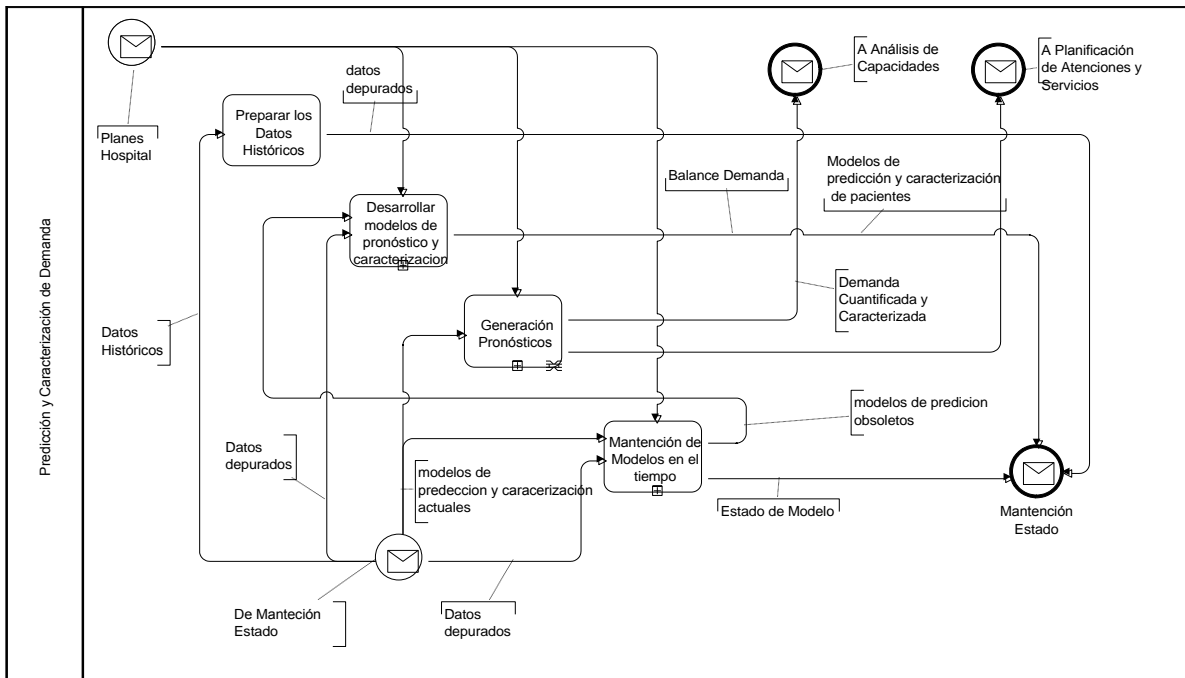
### **10.1. Diseño de Análisis de Demanda**

El trabajo se centrará en el diseño del proceso de análisis de demanda, donde se hará toda la lógica, desde la recolección de la información histórica, pasando por la aplicación del modelo y la caracterización de los pacientes; además, todo lo que tiene que ver con el análisis de capacidades, para finalizar con las acciones a realizar con la información, como son las promociones y la planificación de atenciones y servicios.

Para esto se ha confeccionado el diagrama del proceso análisis y gestión de demanda conjunto donde son 4 los procesos que se interrelacionan: Predicción y Caracterización de Demanda, Análisis de Capacidad, definir acciones de Promoción y finalmente Planificación de Atenciones y Servicios.







**Ilustración 42: Predicción y caracterización de demanda**

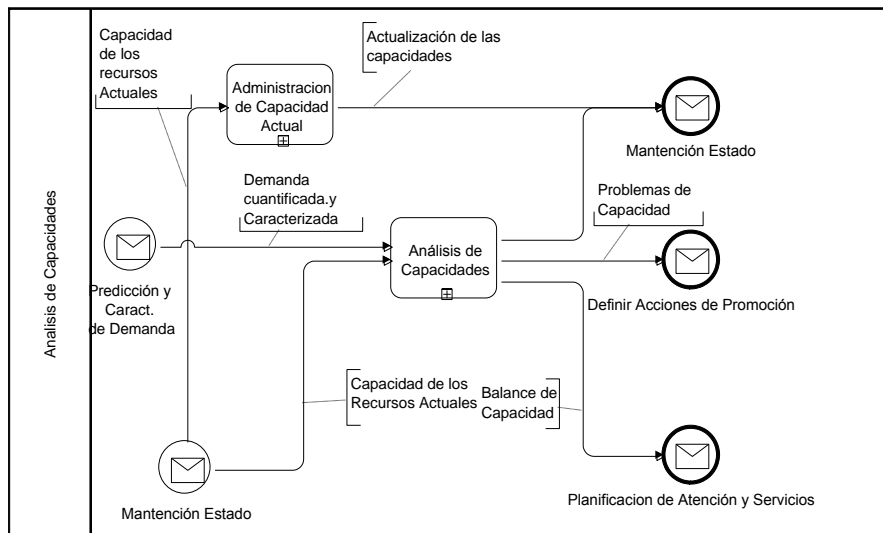
El segundo paso es donde se desarrollan y se ajustan los modelos de predicción y caracterización. Si bien esta actividad pareciera un desarrollo de nueva capacidad (Macro 2), es también parte de la cadena de valor, ya que con ésta se genera información relevante para una adecuada gestión de recursos.

El tercer paso es obtener los resultados del pronóstico. Aquí se usan los datos que se generan en el tiempo para alimentar el modelo previamente creado, para obtener una predicción de demanda para el futuro.

Y por último, se tiene la actividad de mantenimiento de modelos en el tiempo. Aquí el modelo se está constantemente evaluando para ver su vigencia en el tiempo o constatar si surge necesidad de plantear un nuevo modelo, volviendo a la actividad del “Desarrollar modelo de pronóstico y categorización”.

## 10.1.2. Análisis de Capacidades

El sub proceso de Análisis de Capacidades posee dos actividades que se llevan a cabo en tiempos distintos. La primera actividad corresponde a la Administración de Capacidad Actual, que se lleva a cabo únicamente cuando el encargado de urgencia realiza una actualización de las capacidades de los recursos que se están analizando, ya que estos pueden variar en el tiempo.

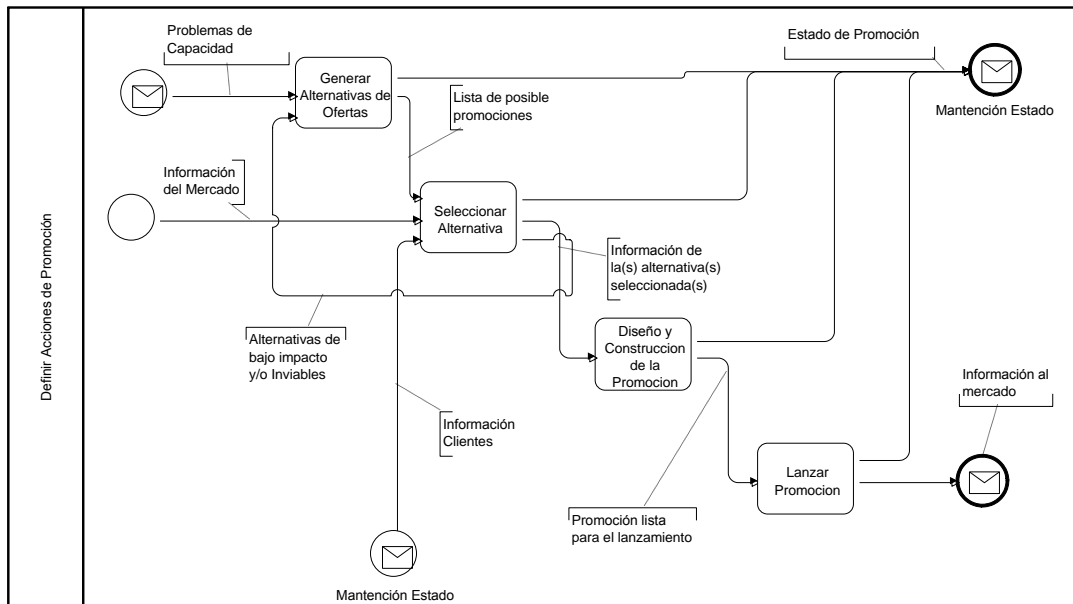


**Ilustración 43: Análisis de Capacidades**

En segundo lugar, se tiene el Análisis de Capacidades. Este paso corresponde al cruce de la información existente en mantenimiento estado referente a las capacidades de los recursos actuales y la información obtenida mediante el pronóstico de demanda. Aquí se lleva a cabo los modelos para ajustar la capacidad que tal como se propone más adelante hay varias formas, una de ellas es la simulación<sup>7</sup> y otras como, por ejemplo, la programación lineal.

<sup>7</sup> Ver Tesis de Eduardo Ferro

### 10.1.3. Definir Acciones de Promoción



**Ilustración 44: Definir acciones de promoción.**

El sub proceso de la Definición de Acciones de Promoción, corresponde a la formalización de los pasos que deben tomarse para la generación de las promociones que ayuden a mitigar el exceso de demanda o que la potencien cuando exista la subutilización de los recursos.

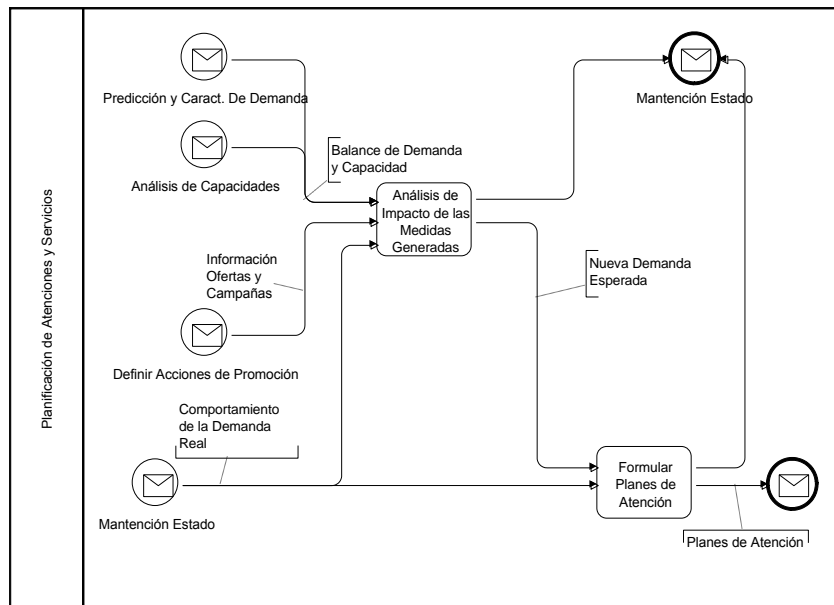
Para la generación de estas acciones se diseñaron 4 actividades:

- i. **Generar Alternativas de Ofertas:** esta primera etapa busca la generación de una lluvia de ideas que permitan mitigar los problemas en las capacidades detectadas para atender la demanda pronosticada.
- ii. **Seleccionar Alternativa:** esta segunda etapa pretende tomar la lista de las posibles promociones junto la información del mercado y de los clientes la alternativa que más convenga para manejar el exceso de demanda. Asimismo, incluye un desarrollo inicial de las ideas sobre el cómo producir la promoción seleccionada.

- iii. Diseño y Construcción de la Promoción: como su nombre lo indica, en ese etapa se lleva a cabo el diseño y la construcción de la promoción completa, es decir, incluye los análisis financieros, determinación de recursos, impacto en la sala de urgencias, entre otros.
- iv. Lanzamiento de la Promoción: por último la salida de este paso sería la promoción desarrollada y su lanzamiento al mercado.

#### 10.1.4. Planificación de Atención y servicios

El último sub proceso dentro del Análisis y Gestión de Demanda corresponde a la generación de los planes de atención.



**Ilustración 45: Planificación de Atenciones y Servicios**

En primer lugar está el análisis de las medidas tomadas en cada uno de los subprocesos anteriores. Lo principal dentro de este proceso es entender el impacto que tendrán las promociones sobre la demanda pronosticada y, con ello, generar una nueva demanda, modificada por las promociones.

Finalmente, para esta nueva demanda de pacientes se generarán diferentes planes de atención para tener un mejor manejo de la demanda, es decir, se crearán planes de atenciones para la Sala de Urgencias donde se establecerán horarios para atender enfermedades respiratorias en invierno, la contratación de una enfermera que se encargue de filtrar la demanda en la sala de admisión.

### 10.2. Árbol de Procesos

Antes de pasar al último nivel de los procesos es bueno tener un mapa de todos los procesos descritos anteriormente y ver como se relacionan entre sí jerárquicamente. Esto se puede ver gráficamente en el siguiente árbol de procesos.

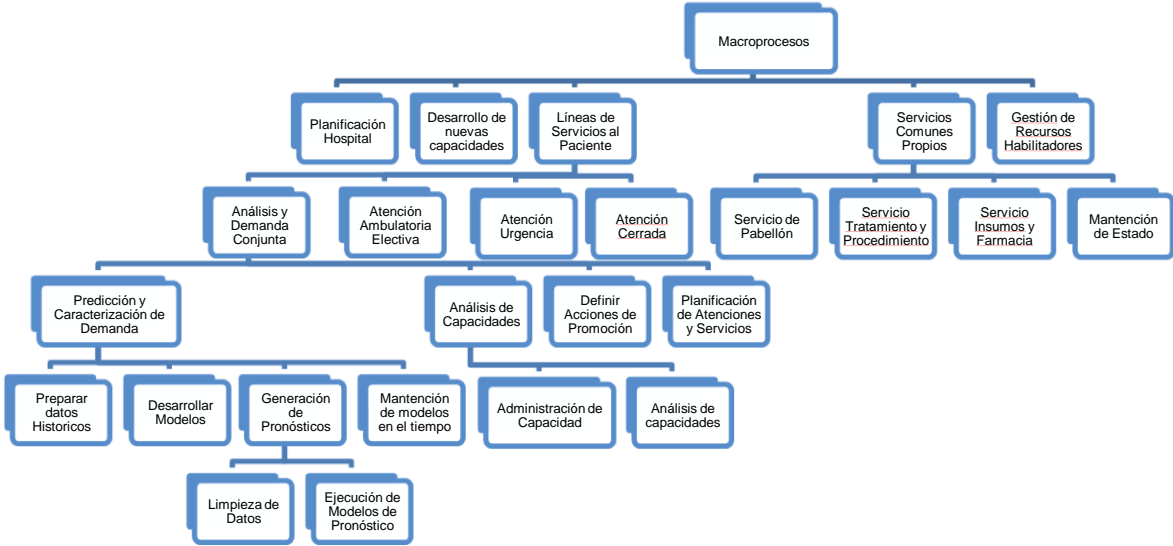


Ilustración 46: Árbol de Procesos

## 11. Diagramas de Pistas BPMN

Luego de describir toda la arquitectura del hospital hasta llegar a los niveles operacionales, hace falta detallar el último nivel de los procesos, vale decir todo lo que son las actividades de forma procedural. Para esto, es muy útil utilizar el lenguaje BPMN definido en el marco teórico en el capítulo 5.3.1

### 11.1. Generación de Pronósticos

Como fue mencionado el sub proceso correspondiente a la Generación de Pronósticos posee dos diagramas de pista representados en BPMN. Una corresponde a la Limpieza de Datos y un segundo para la Ejecución de Modelos de Pronóstico y Caracterización propiamente tal.

Asimismo, es importante resaltar que este es el primer paso para poder llevar a cabo el análisis de demanda.

#### 11.1.1. Limpieza de Datos

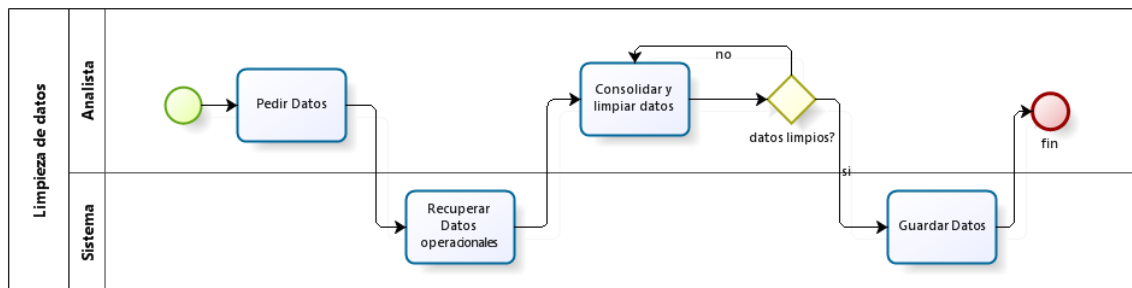


Ilustración 47: Limpieza de Datos.

La limpieza de datos consiste en pedir los datos a la base de datos operacional y desplegarlos en pantalla para que el Analista distinga datos anómalos para eliminarlos, o normalizarlos, con el fin de producir datos limpios para el modelo; esto se debe iterar hasta quedar conforme con los datos. En este paso es importante corregir datos que a pesar de estar de acuerdo con la realidad, se escapan con lo que puede ser la normalidad. Por ejemplo, una crisis como la

vivida con la pandemia AH1N1, es imposible que se pueda predecir y si se ingresan estos nuevos datos al modelo, sólo lo confundirá y no será posible predecir una nueva pandemia.

Una vez que los datos estén limpios, estos se deben guardar en la base de datos propia del sistema para un posterior uso.

### **11.1.2. Ejecución de Modelos de Pronóstico y Caracterización**

Si bien el flujo para realizar la actividad de pronóstico y caracterización no es compleja, se deben realizar varios pasos previos antes de poder ejecutar un modelo propiamente tal.

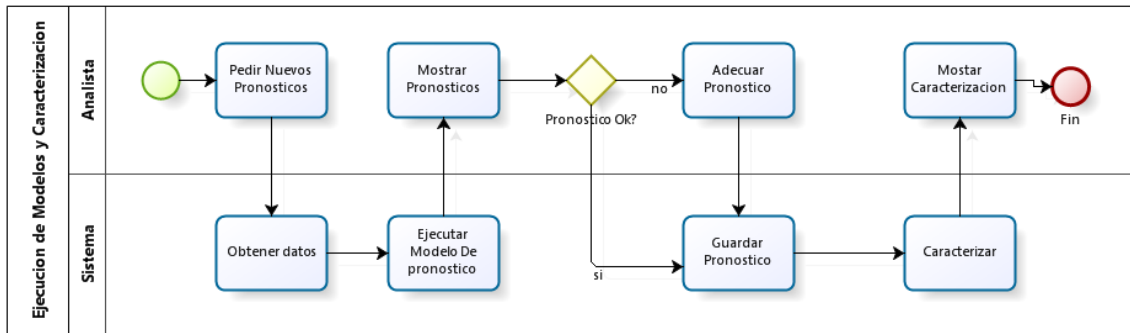
El primer paso por parte del analista es pedir la acción de calcular nuevos pronósticos; luego el sistema obtiene los datos para poder hacer un análisis de estos. En seguida, con los datos obtenidos y con el modelo ya entrenado, se hace la predicción de la demanda. Una vez obtenido el resultado, el analista observará el pronóstico y modificará, en caso de ser necesario. Esto debido a que puede haber cierta información médica que no es posible incorporar al modelo; por ejemplo si el médico sabe que habrá un aumento de la demanda debido a que hay un virus contagioso circulando.

Luego, después de tener la demanda pronosticada, se le pedirá al sistema la caracterización de los pacientes; aunque el sistema segmenta a los pacientes, estos datos no se guardan ya que pueden ser cambiadas las proporciones por el usuario y esto se calcula nuevamente de forma dinámica.

Finalmente, el analista recibirá estos pronósticos del sistema y se entregarán como entrada a otros procesos como los que se verán más adelante.

Para visualizar mejor este proceso a continuación se muestra su diagrama de pistas en BPMN.





**Ilustración 48: Pronóstico y caracterización de la demanda.**

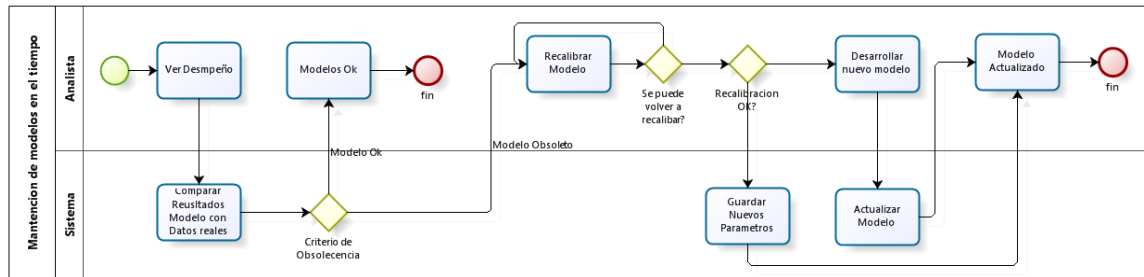
## 11.2. Mantenimiento de Modelos en el tiempo

Por su parte, el proceso “Mantenimiento de Modelo en el tiempo” debe ver el desempeño histórico de los modelos, para determinar si el modelo actual requiere una recalibración.

De ser así, se requerirá que el analista ingrese un conjunto de datos, que puede no ser igual al usado en una calibración anterior correspondientes a los datos de entrenamiento. Si el modelo resulta estar obsoleto, entonces se enviará un mensaje a “Desarrollo de Modelo”.

Este Diagrama será expuesto de forma detallada, porque requiere de análisis y cálculos más complejos por parte del analista y del sistema, respectivamente que serán definidos a nivel conceptual, pero no se llegará al diseño computacional de estos.

Es importante recalcar que la ejecución de este proceso requiere de una persona con conocimientos previos de Inteligencia de Negocios, dado que su correcta ejecución dependerá, en gran medida, del criterio utilizado en cada actividad. El Diagrama de Pistas se detalla en la ilustración:



**Ilustración 49: Mantenimiento de modelos en el tiempo**

1. Se ve el desempeño histórico de los modelos; es importante recalcar que mes a mes se va ingresando nueva data al sistema lo que permite hacer nuevas comparaciones.
2. Estos datos se comparan con los generados por el modelo
3. Luego se tiene un criterio de obsolescencia, para determinar que el modelo ya no está funcionando. Este puede ser definido como parte de la lógica de negocio
4. En el caso que el modelo ya esté obsoleto se puede modificar los parámetros del modelo y reentrenarlo con la nueva data generada.
5. En el caso de que el modelo siga teniendo resultados no aceptables, significa que hay que modificar las variables de entrada o, definitivamente, modificar el tipo de modelo; para esto se puede llamar al proceso de “desarrollar nuevos modelos” definido anteriormente como un sub proceso en el punto 11.1
6. Una vez desarrollado el nuevo modelo se debe reemplazar el modelo antiguo con el nuevo y se deben ajustar las variables entregadas al modelo.

### 11.3. Sub Proceso Análisis de capacidades

El sub proceso correspondiente al Análisis de Capacidades posee dos diagramas de pista en BPMN. Uno corresponde a la modificación de las capacidades actuales y un segundo, para el análisis de las capacidades.

Asimismo, es importante resaltar que el Análisis de Capacidades únicamente puede ser realizado una vez se haya obtenido el pronóstico y caracterización de la demanda, porque dicha información funciona como parámetro de entrada.

#### 11.3.1. Modificación de las Capacidades Actuales

Este diagrama de pistas consta de dos actores, uno será el Analista que es el encargado de realizar las actividades semi-automatizadas y el segundo es el Sistema.

Este proceso únicamente será llevado a cabo cuando se desee modificar la información existente sobre las capacidades de los recursos.

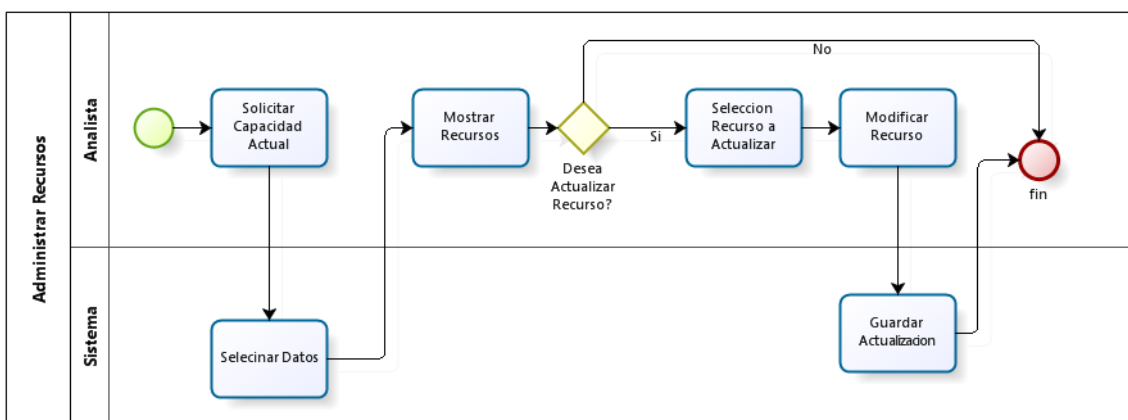


Ilustración 50: Administración de recursos actuales

El diagrama de pistas sigue el siguiente orden:

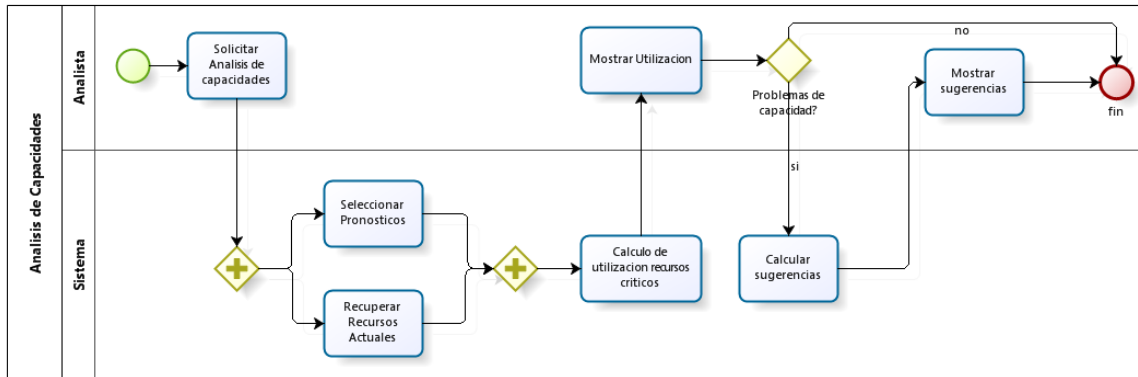
1. El Analista solicita al sistema la información actual sobre las capacidades de los recursos.
2. El sistema busca en la información y la despliega en pantalla para que el Analista la pueda visualizar.
3. El Analista revisa la información y selecciona si es que desea modificar algún recurso; si es negativa la respuesta, el sistema finaliza el flujo de trabajo.
4. El Analista modifica el recurso y manda la nueva información al sistema.
5. El sistema toma el nuevo valor y actualiza la capacidad del recurso seleccionado.

### **11.3.2. Producción del Análisis de Capacidades**

Este diagrama de pistas BPMN es el uno de los más importantes de estos sub-procesos, ya que es el que realmente posee inteligencia para generar los análisis necesarios y generar los reportes de estado de ocupación y posteriormente el de sugerencias.

Se debe resaltar que este diagrama de pista sí se lleva a cabo cada vez que se desee generar un reporte del estado de ocupación de los recursos, en base a los pronósticos de demanda generados.

El diagrama de pistas diseñado se muestra a continuación:



**Ilustración 51: Análisis de capacidades**

Se explicará en detalle cada uno de los pasos.

1. El Analista solicita el proceso de análisis de capacidades analizar, que pueden ser de los distintos recursos críticos como los doctores, camas u otros.
2. El sistema, en paralelo, recupera la información referente al pronóstico y, por otro lado, el sistema selecciona la información respecto a la capacidad actual
3. Con la información, el sistema ejecuta un modelo de programación lineal en el cual calcula la utilización de los recursos actuales.
4. El Analista visualiza el informe y determina si existen o no problemas de capacidad. En caso de no existir problemas, se finaliza el diagrama; en caso contrario continúa el flujo de trabajo.
5. Si existen problemas, el sistema realizará sugerencias en base al modelo de programación lineal ya sea añadiendo recursos críticos o aumentando la carga de trabajo de éstos entre otras opciones que serán detalladas más adelante.

6. Finalmente el Analista revisa las sugerencias del sistema y se envía el reporte a mantención estado para su futura utilización en los sub procesos siguientes del proceso de Atención y Gestión de Demanda.

## **12. Lógicas de negocio complejas**

Hay tres actividades no triviales que vale la pena detallar completamente, puesto que estas serán automatizadas o semi-automatizada; ellas son “Pronóstico de demanda”, “caracterización de la demanda” y finalmente el “análisis de capacidades”. Además, hay una cuarta actividad llamada “mantención de modelos en el tiempo” la cual se definirá la lógica; sin embargo, de esta no se automatizará ni detallará su apoyo computacional.

Se propone la técnica de series de tiempo para predecir la demanda de urgencia en forma agregada y luego, en base a información histórica, segmentar en diferentes grupos relevantes para la planificación.

Para las tres primeras lógicas se detalla los modelos que soportan los procesos así como una verificación con datos reales de su validez.

### **12.1. Predicción de demanda**

Para esta lógica de negocios se propone un método apoyado por modelos de Business Intelligence, tal como fueron descritos en el capítulo del marco teórico.

Los pronósticos se harán de dos formas, dependiendo su nivel de agregación. Para los modelos más agregados se utilizarán únicamente series de tiempo donde sólo se requiere información histórica de la cantidad de pacientes que ingresan a urgencia. Para los niveles más desagregados se proponen métodos causales donde, además de la demanda histórica, se utilizan distintas variables como factores ambientales para explicar el comportamiento de los pacientes.

Los modelos se realizarán para dos atenciones diferentes; uno en pediatría, que atiende todas las enfermedades respiratorias, influenza, gripes, etc. y el segundo en traumatología donde llegan todas las atenciones por golpes, fracturas, contusiones, etc.

Los experimentos fueron realizados en el software RapidMiner 4.6 utilizando distintas librerías para la implementación de los modelos. Entre ellos, podemos destacar MLP de la librería WEKA para las redes neuronales y LibSVM para las máquinas vectoriales de soporte.

## **12.2. Modelo Mensual**

### **12.2.1. Datos**

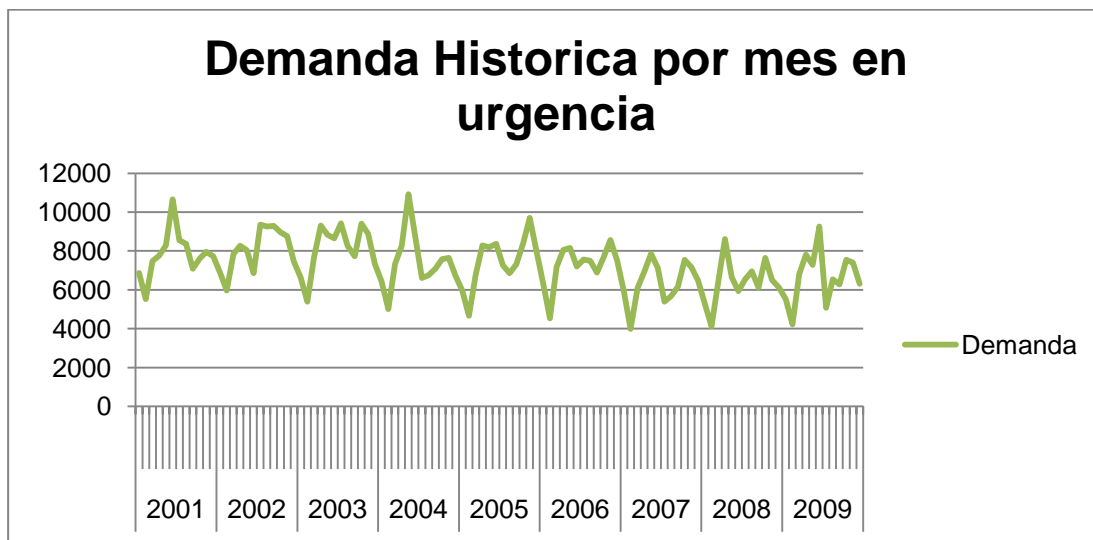
Para poder predecir efectivamente, uno de los ingredientes clave es la calidad de la información. Además, que las condiciones de funcionamiento del hospital y las condiciones ambientales permanezcan relativamente estables. Por ejemplo, si hay un terremoto o una pandemia, difícilmente el modelo podrá incorporar esa información y adaptar los pronósticos. Para ello se debería recalibrar los modelos para realmente funcionen.

Los datos proporcionados por las bases de datos operacionales de urgencia en el hospital son de buena calidad ya que todo paciente debe ser registrado en estos sistemas. Con una simple transformación, se pueden agregar los datos para llegar a la información histórica a nivel mensual necesaria para los pronósticos. Mediante un análisis cuantitativo de la demanda se observó que llega a valores extremos; se encontró que en dos meses de toda la muestra hay demanda sustancialmente mayor que el promedio del resto de los meses y por lo tanto decidió reemplazarlos utilizando por el promedio histórico para esos meses. Este manejo de datos de valores extremos conduce a una mejora en el modelo y ayuda a encontrar un patrón definido a partir de los datos disponibles resultando modelos más estables.

La inspección visual de la demanda agregada revela un fuerte patrón estacional, como se muestra en la Ilustración 52. Además, se observa una leve baja demanda durante los meses de verano (enero - febrero) y una alta afluencia de pacientes durante los meses de la temporada de invierno (mayo - junio - julio). Esto se debe al hecho de que la contaminación del aire, el smog, y las bajas

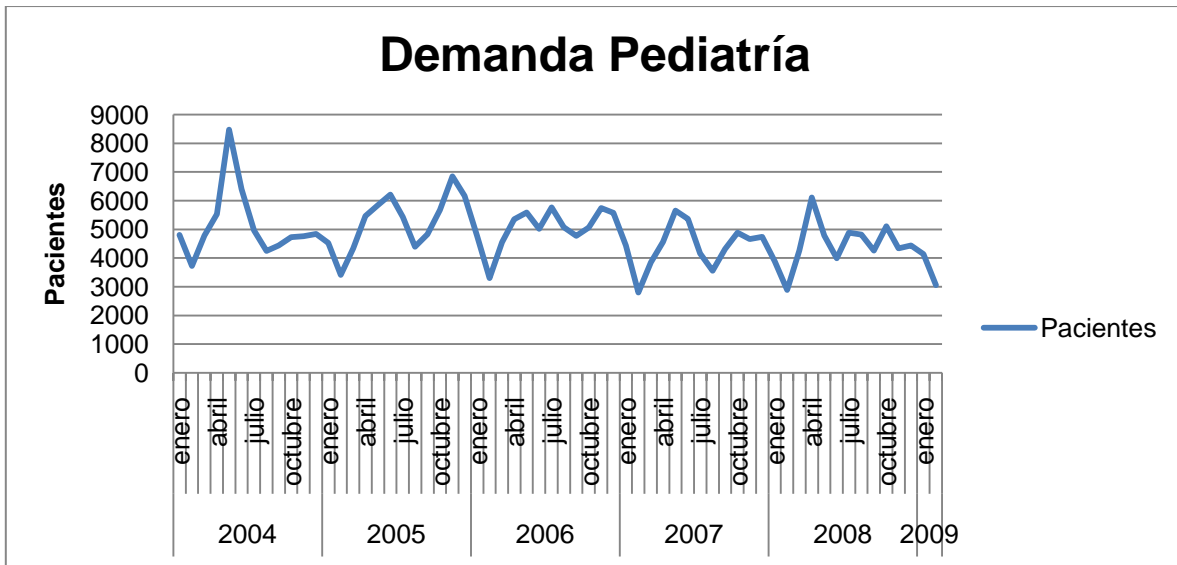


temperaturas que conducen a enfermedades respiratorias, aumentando el número de atenciones, sobretodo en el Hospital Calvo Mackenna que es un hospital de niños.

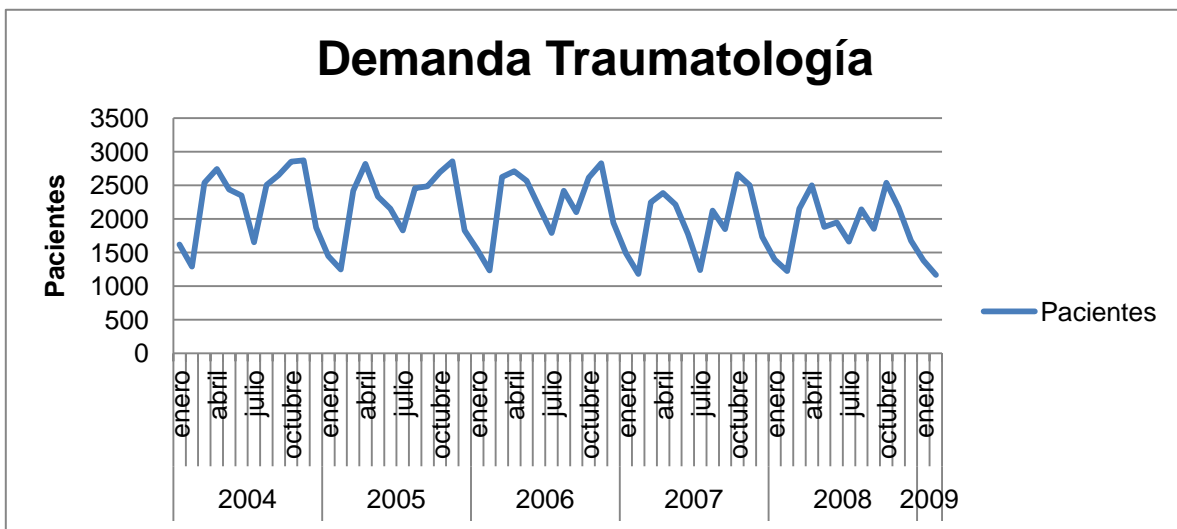


**Ilustración 52: Gráfico de demanda mensual en urgencia**

Cuando los datos están desglosados por tipo de patología, es decir, separando por cada uno de los box de atención, pediatría y traumatología, se pueden ver grandes diferencias. La demanda en pediatría es mucho más volátil, ya que depende de factores tales como la temperatura y gripes estacionales, mientras que la demanda en el box de traumatología es más estable, como se muestra en las Ilustraciones 53 y 54.



**Ilustración 53: Gráfico de demanda mensual en pediatría**



**Ilustración 54: Gráfico de demanda mensual en traumatología**

De los datos también es posible concluir que la demanda pediátrica agrupa un 70% de los casos de urgencia y cirugía sólo 30%.

#### 12.2.2. Modelo Mensual

Dado que se tienen dos conjuntos de datos tan disímiles, se optó por construir dos modelos independientes: uno para el box de pediatría y uno para el

de traumatología. Para ambos casos sólo se basó en información histórica para generar los modelos.

Dado que el modelo es una respuesta a un vector de datos, se trató de dar la mayor cantidad posible de información relevante; sin embargo, una cantidad excesiva de datos sólo confundirá a los modelos haciendo que no incluya patrones importantes. Luego de varios ensayos se determinó que las variables más relevantes son:

- El mes a predecir, transformando esta variable a categórica con 12 variables binarias.
- El valor de la demanda el año anterior
- El valor de la demanda hace dos años
- El valor de la demanda hace tres años
- La diferencia entre el mes anterior y el actual en el año anterior al mes a predecir
- La diferencia entre el mes anterior y el actual hace dos años al mes a predecir
- La diferencia entre el mes anterior y el actual hace tres años al mes a predecir
- El mes anterior al mes a predecir.

Si bien este último dato aporta información relevante para la predicción, su utilización limita al modelo a poder predecir sólo un mes, ya que se requiere la información de la demanda del mes actual para predecir el mes posterior. Si no se utiliza este dato entonces el modelo será capaz de predecir doce meses consecutivos.

Entonces, siendo N el mes a predecir, las variables relevantes son: N-12, N-24 y N-36 además de la diferencia entre N-12 y N-13, N-24 y N-25, N-36 y N-37 y un set de doce variables binarias para representar el mes a predecir.

Si bien una parte de estas variables de entrada fueron propuestas por ensayo y error, al obtener la correlación entre estas variables y el valor objetivo, se puede observar el grado de dependencia de éstas en base a la correlación de variables expuestas en las siguientes tablas.

Variable	Correlación con valor objetivo
N-36	0,555384807
N-24	0,492152052
N-12	0,574532599
N-12-N-13	0,25836444
N-24-N-25	0,279104923
N-36-N-37	0,335161558

**Tabla 12: Correlación de variables en pediatría**

Variable	Correlación con valor objetivo
N-36	0,88440197
N-24	0,89631077
N-12	0,93756909
N-12-N-13	0,55136004
N-24-N-25	0,50732762
N-36-N-37	0,52849371

**Tabla 13: Correlación de variables en traumatología**

En ellas se puede apreciar que el valor de mayor relevancia es el valor del año anterior para ambas tablas. Por otro lado, traumatología es muchísimo más estable que pediatría, por lo que tiene sentido que las correlaciones sean mayores.

### **12.2.3. Resultados**

Los resultados obtenidos para cada modelo varían, siendo la técnica Support Vector Regression la con menor error.

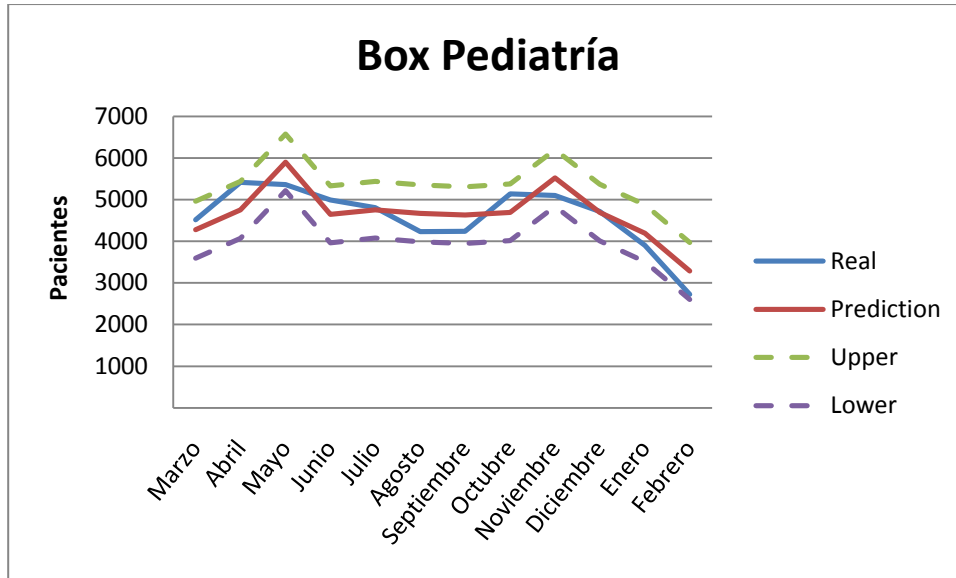
En la siguiente tabla se muestran los errores dados por el Error absoluto porcentual de la media (MAPE) que fue descrito en el marco teórico.

	Regresión Lineal	Medias Móviles	Red Neuronal	SVR
<b>Demanda medicina</b>	12,67%	7,53%	7,45%	<u>5.61%</u>
<b>Demanda cirugía</b>	6,54%	7,36%	8,99%	<u>5.09%</u>

**Ilustración 55: Error absoluto porcentual de la media (MAPE) para los distintos tipos de modelo mensual**

Con esta información y en base al modelo de menor error, es decir las máquinas vectoriales de soporte, se añadió un intervalo de confianza con el cual el 95% de las predicciones caerán dentro de esta banda. Para realizar esto se hizo un test estadístico (Kolmogorov Smirnov) para corroborar que los errores se comportaran como una distribución normal de media cero. A través de este test la hipótesis de distribución normal no puede ser rechazada para ninguna de los dos modelos, por lo que el intervalo de confianza corresponde al pronóstico  $\pm 1,96$  veces la desviación estándar.

En los gráficos que se presentan a continuación se puede notar la precisión de la predicción para ambos modelos, donde la predicción se sale de la banda solamente en una ocasión en el lapso de 1 año.



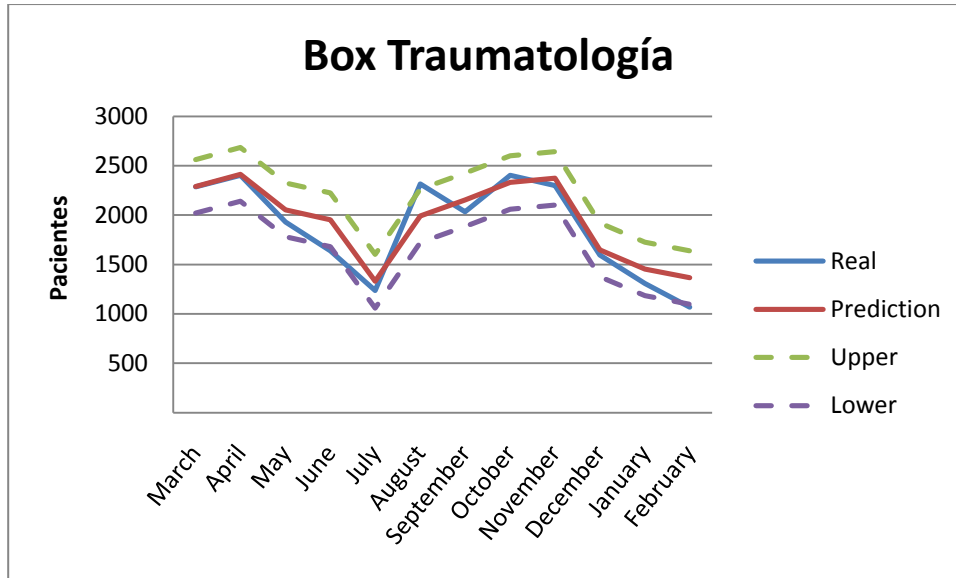
**Ilustración 56: Comparación Resultado Real Vs Pronóstico en pediatría**

Los detalles de estos errores se pueden ver en la siguiente tabla,

Mes	Real	Predicción	Error	Banda Superior	Banda Inferior
Marzo	4516	4275	4%	4957	3593
Abril	5411	4752	9%	5435	4070
Mayo	5358	5895	7%	6577	5213
Junio	4996	4648	5%	5330	3966
Julio	4804	4757	1%	5439	4075
Agosto	4229	4671	7%	5353	3988
Septiembre	4240	4627	6%	5309	3945
Octubre	5134	4695	6%	5377	4013
Noviembre	5102	5519	6%	6201	4837
Diciembre	4719	4689	0%	5371	4007
Enero	3899	4194	5%	4876	3512
Febrero	2728	3284	12%	3966	2602

**Tabla 14: Resultados Box pediatría**

De la misma manera los resultados del modelo para el Box de traumatología se presentan en el siguiente gráfico.



**Ilustración 57: Comparación Resultado Real Vs Pronóstico en traumatología**

Igualmente los errores para este conjunto de validación se pueden ver en la siguiente tabla

Mes	Real	Predicción	Error	Banda Superior	Banda Inferior
Marzo	2286	2291	0%	2562	2019
Abril	2404	2412	0%	2683	2140
Mayo	1929	2052	4%	2323	1781
Junio	1639	1952	12%	2223	1681
Julio	1235	1330	4%	1601	1058
Agosto	2316	1992	10%	2264	1721
Septiembre	2034	2154	4%	2426	1883
Octubre	2404	2331	2%	2602	2059
Noviembre	2299	2372	2%	2644	2101
Diciembre	1597	1648	2%	1920	1377
Enero	1306	1455	6%	1726	1184
Febrero	1067	1367	14%	1639	1096

**Tabla 15: Resultados Box traumatología**

## 12.3. Modelo Semanal

### 12.3.1. Datos

Para el modelo de demanda semanal además de los datos históricos, ahora agregados de forma semanal, se utilizará información adicional que ayuda al modelo a ser más preciso. Considerando que cada semana es de lunes a domingo, lo primero que se debe hacer con los datos es ajustarlos para que todos los años tengan 52 semanas, y que estas semanas sean comparables entre sí, para lo cual la primera y última semana del año se debe manejar con sumo cuidado.

A continuación se muestran la data histórica de forma semanal par los dos tipos de atención

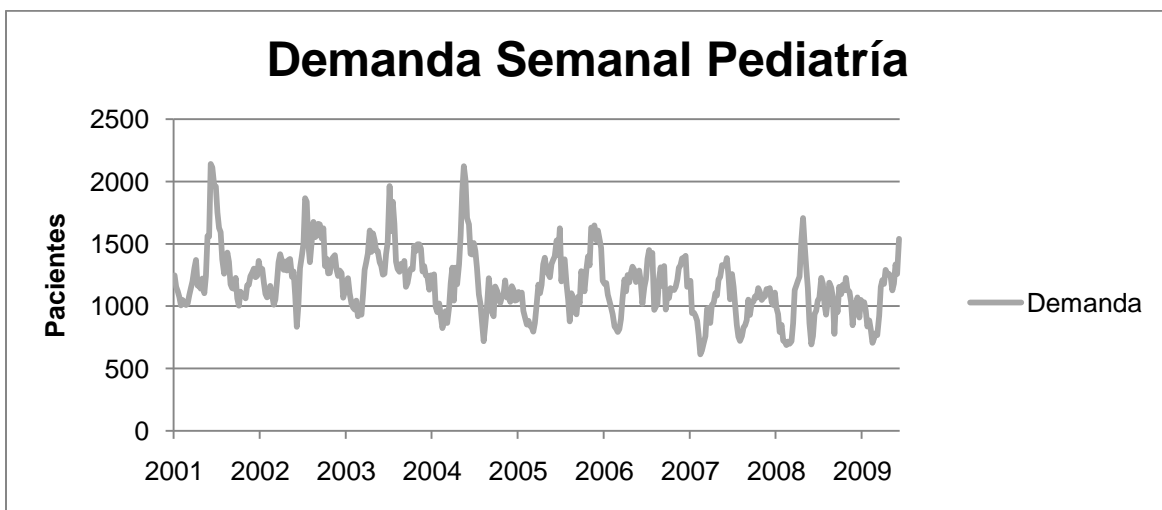
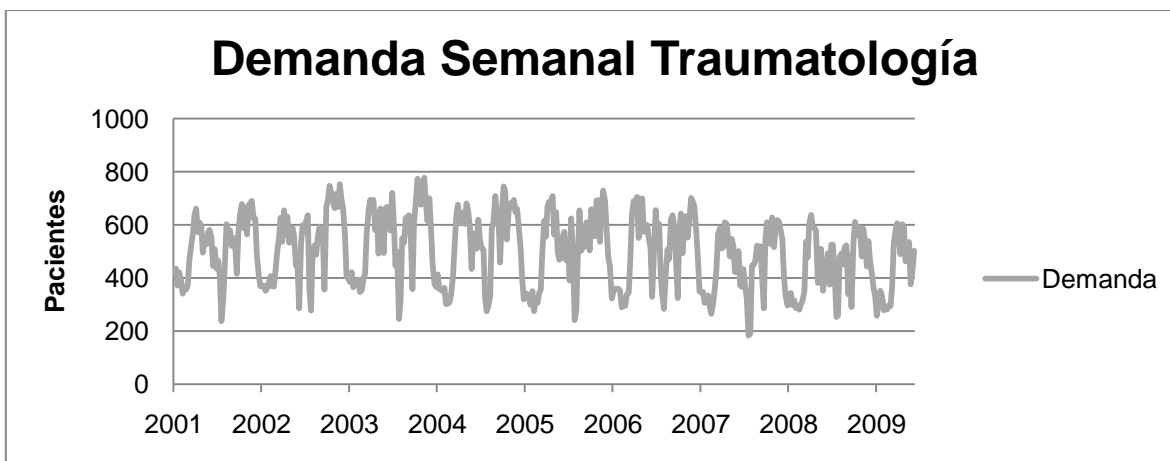


Ilustración 58: Gráfico de demanda semanal en pediatría

Para pediatría se puede ver que en los meses de invierno hay un aumento en la demanda lo cual puede deberse principalmente a factores ambientales, como el frío la humedad y las gripes estacionales.





**Ilustración 59: Gráfico de demanda semanal en traumatología**

Para traumatología, luego de analizar los datos, se puede observar que además de la baja en vacaciones de verano, hay una baja de la demanda a mitad de año correspondiente a las vacaciones de invierno.

Para visualizar esto se adjunta la tabla de los periodos de clases definidos por el Ministerio de Educación.

año	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Inicio	05-Mar	04-Mar	03-Mar	08-Mar	03-Mar	06-Mar	05-Mar	05-Mar	02-Mar
Término	13-Jul	12-Jul	11-Jul	16-Jul	08-Jul	13-Jul	11-Jul	11-Jul	12-Jul
Inicio	30-Jul	29-Jul	28-Jul	01-Ago	25-Jul	31-Jul	30-Jul	28-Jul	27-Jul
Término	21-Dic	20-Dic	19-Dic	23-Dic	16-Dic	22-Dic	21-Dic	19-Dic	18-Dic

**Tabla 16: Periodo de clases definido por el Ministerio de Educación**

### 12.3.2. Modelos

De igual manera se optó por construir dos modelos independientes: uno para el box de pediatría y una para el de traumatología. Para este último caso, ya se comenzó a incorporar cierta información adicional que puede explicar los fenómenos de alta o baja demanda.

En particular, se incluye la información de si una semana en especial hay clases o no.

Luego de varios ensayos se determinó que las variables más relevantes son:

- Promedio de todos los años para la semana a predecir
- El valor de la demanda en la semana anterior
- El valor de la demanda la semana anterior del año anterior
- La diferencia entre el mes anterior y el actual hace dos años al mes a predecir
- El valor de la demanda hace exactamente un año
- El valor de la demanda hace dos años
- Variable Binaria si esa semana es un laboral o no.

Para ver la influencia de cada una de estas variables se hizo una matriz de correlación con la variable objetivo para cada uno de los modelos.

Variable	Correlación con valor objetivo
Promedio todos los años	0,68591168
Promedios 5 semanas anteriores	0,67365571
Semana anterior	0,86613972
Semana anterior año anterior	0,49158566
Año anterior	0,51586339
2 años antes	0,38354646
Clases	0,32447535

**Tabla 17: Correlación en pediatría**

Para pediatría el valor más relevante es la semana anterior, lo que tiene sentido, ya que los cambios ambientales como la temperatura o los virus como la influenza se van generando y disminuyendo de forma gradual.

Variable	Correlación con valor objetivo
Promedio todos los años	0,8711781
Promedios 5 semanas anteriores	0,54908901
Semana anterior	0,76752632
Semana anterior año anterior	0,68424594
Año anterior	0,78835411
2 años antes	0,75880734
Clases	0,66675525

**Tabla 18: Correlación en traumatología**

Para traumatología podemos ver que el valor más relevante es el promedio de todos los años para la misma semana, lo que tiene sentido si consideramos que la cantidad de consultas para traumatología no varía por cambios ambientales aleatorios como la influencia estacional o la temperatura del aire. Pero llama la atención que hay una gran correlación si la semana a predecir era o no de clases, Esto nos dice que hay una mayor cantidad de golpes cuando los niños están en el jardín o el colegio, lo que concuerda con la realidad.

### 12.3.3. Resultados

Los resultados obtenidos para cada modelo varían, pero siendo la técnica de Redes Neuronales la de menor error.

En la siguiente tabla se muestran los errores dados por el Error absoluto porcentual de la media (MAPE) que fue descrito en el marco teórico.

	Regresión Lineal	Medias Móviles	Red Neuronal	SVR
HLCM Demanda Pediatría	8,75%	9,21%	8,73%	9,35%
HLCM Demanda Traumatología	14,21%	15,44%	12,31%	14,82%

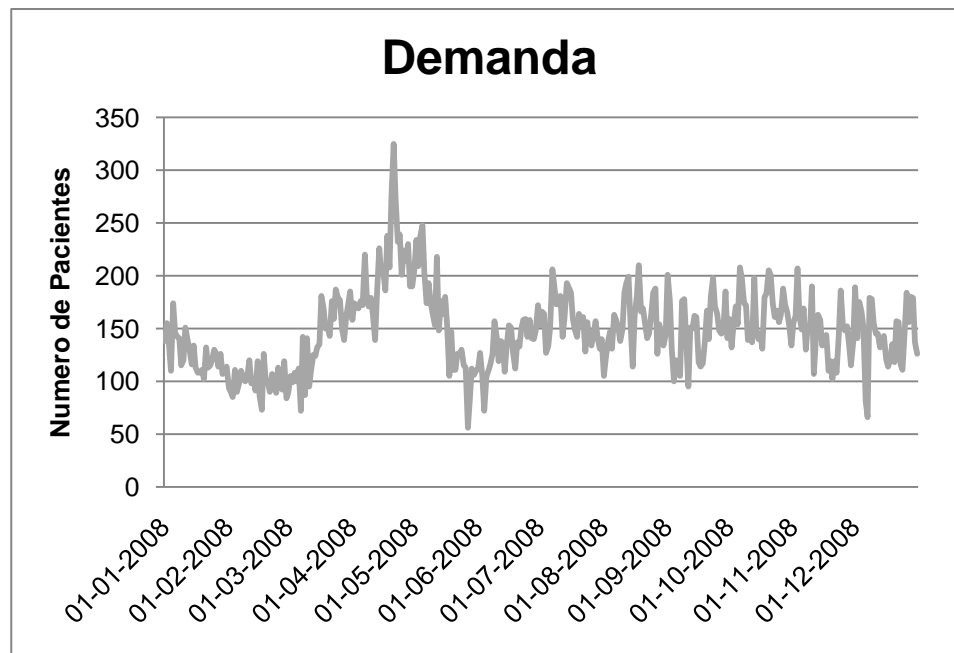
**Tabla 19: Error absoluto porcentual de la media (MAPE) de modelos semanales**

## 12.4. Modelo diario

### 12.4.1. Datos

Para el modelo de demanda diaria los datos históricos se deben desagregar día a día.

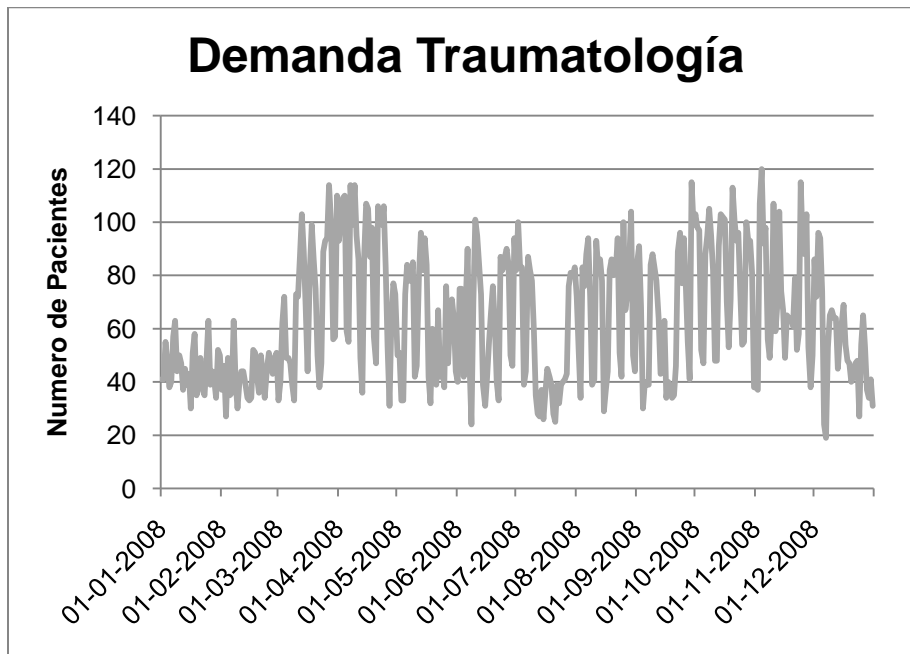
A continuación se muestra la data histórica de forma diaria para los dos tipos de atención para todo el año 2008 empezando el 1 de enero y finalizando el 31 de diciembre.



**Ilustración 60: Demanda Diaria pediatría año 2008**

Para pediatría se puede ver que hay un *peak* en la llamada “campaña de invierno” lo cual puede deberse principalmente a factores ambientales, como el frío, la humedad y las gripes estacionales. Sin embargo, a través de las semanas tiene un comportamiento relativamente estable.

La demanda para traumatología para el año 2008 se puede ver en la Ilustración 60.



**Ilustración 61: Demanda Diaria traumatología año 2008**

Para traumatología, luego de analizar los datos, se puede observar que además de la baja en vacaciones de verano, hay una baja de demanda a mitad de año correspondiente a las vacaciones de invierno, lo que sugiere una gran correlación con la influencia del colegio. Por otra parte, se puede observar una demanda mucho más volátil que en pediatría con saltos importantes dentro de una misma semana.

#### **12.4.2. Modelo**

Tal como en los casos anteriores, se optó por construir dos modelos independientes: uno para el box de pediatría y una para el de traumatología. Para este caso ya se comenzó a incorporar cierta información adicional que puede explicar los fenómenos de alta o baja demanda. En particular, se incluye la información de si un día en especial hay clases teniendo en cuenta los feriados, fines de semana y periodo de vacaciones. Esto se incluyó como una variable binaria.

Por otro lado, se incluyeron variables explicativas al modelo, como los efectos ambientales. Para ello se incluyó la temperatura, la lluvia y la contaminación ambiental como variables del modelo.

Los datos históricos de temperatura y lluvia fueron obtenidos de la estación de monitoreo del Grupo de Meteorología, Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, donde se registran a intervalos de 15 minutos, datos como la temperatura humedad, precipitaciones, radiación, entre otros. Para el modelo se extrajo la temperatura máxima y mínima de cada día. Además se utilizó una transformación para los días en que la precipitación fuera mayor a cero, con una variable que identificaba si ese día llovió o no.

Los datos de la contaminación fueron sacados de la Seremi de Salud de la Región Metropolitana, donde la variable relevante es el material PM10, correspondiente a partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento ó polen dispersas en la atmósfera y cuyo diámetro varía entre 2,5 y 10  $\mu\text{m}$ . Las PM10 al ser inhaladas y al penetrar con facilidad al sistema respiratorio humano, causan efectos adversos a la salud de las personas específicamente a la salud respiratoria.

En la Tabla 20 se puede ver la correspondencia entre el índice PM10 y categorización en la Región Metropolitana.

PM10( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )	Índice ICAP	Categoría	Criterio
0-150	0-100	Bueno	Bajo Norma
151-195	101-200	Regular	Sobre Norma sin Medida
196-240	201-300	Malo	Alerta
241-285	301-400	Crítico	Pre-emergencia
286-330	401-500	Peligroso	Pre-emergencia
Sobre 330	Sobre 501	Excede	Emergencia

Fuente: Calidad del aire SEREMI de Salud RM

**Tabla 20: Índice contaminación y su correspondiente categorización en la Región Metropolitana**

Por otra parte, se determinó que el día de la semana es relevante para explicar ciertos comportamientos de la demanda. Por ejemplo, durante el fin de semana la demanda es menor que el resto de la semana. Se incluyeron estos datos como 7 variables binarias.

Por último, se incluyó información histórica de la demanda que podría agregar ayudar a encontrar patrones.

Luego de varios ensayos se determinó que las variables más relevantes para el modelo son las siguientes:

- Siete variables binarias para representar el día de la semana a la cual corresponde.
- Una variable binaria que corresponde si ese día es de colegio o no, considerando vacaciones, feriados y fines de semana.
- La temperatura máxima del día.
- La temperatura mínima del día.
- Una variable binaria para representar si llovió o no.
- La demanda el día anterior.
- La demanda hace dos días atrás.
- El promedio de la semana anterior
- El valor de la demanda exactamente hace un año atrás.
- El índice de contaminación del aire.

Un alcance que vale la pena mencionar es que se deben tener los valores de la temperatura máxima y mínima, además de si llueve o no y la calidad del aire antes de que esto ocurra, ya que se está haciendo una predicción de la demanda

y no se cuenta con esos datos. Es por ello, que para utilizar el modelo, se debe utilizar valores predichos para estas cuatro variables.

Para ver la influencia de cada una de estas variables se hizo una matriz de correlación con la variable objetivo para cada uno de los modelos.

	Correlación con valor objetivo
Lunes	0,21157
Martes	0,02518
Miércoles	-0,04057
Jueves	-0,03618
Viernes	-0,02702
Sábado	-0,07407
Domingo	-0,05864
Escolar	0,27956
Tº Max	-0,11378
Tº Min	-0,21999
Lluvia	-0,09927
N-1	0,77012
N-2	0,71240
N-3	0,70494
Promedio semana anterior	0,81429
Año anterior	0,25638
Calidad del Aire	0,15887

**Tabla 21: Correlación pediatría**

Dentro de lo más destacable de las correlaciones en pediatría, es que los lunes la demanda es mayor que el resto de los días. La variable correspondiente si es día de clases o no, tiene una pequeña correlación positiva. Es interesante destacar que hay una correlación negativa con la temperatura mínima, esto tiene sentido ya que en días fríos no es bueno exponer a los menores a estas temperaturas. Por último, es importante destacar que existe una gran correlación con el promedio de la última semana; esto nos dice que la demanda no varía tan bruscamente, por lo que un monitoreo constante de la demanda puede explicar en gran medida el comportamiento de la próxima semana. La contaminación ambiental, a pesar de tener una correlación positiva, su valor no es muy alto; esto



puede deberse principalmente a que este factor solo afecta en los meses de invierno.

La correlación en traumatología se ve en la siguiente tabla

	Correlación con valor objetivo
Lunes	0,14026
Martes	0,17194
Miércoles	0,13606
Jueves	0,15918
Viernes	0,05011
Sábado	-0,31379
Domingo	-0,34359
Escolar	0,78340
Tº Max	-0,06886
Tº Min	-0,09065
Lluvia	-0,07408
N-1	0,62185
N-2	0,31113
N-3	0,23651
Promedio semana anterior	0,59932
Año anterior	0,26737
Calidad del Aire	0,01113

**Tabla 22: Correlación traumatología**

Es interesante ver la importante correlación que hay entre los días de colegio y la demanda. Asimismo, la correlación negativa que hay los fines de semana. Esto se explica porque tiende a haber una mayor cantidad de accidentes en el colegio que en la casa de los niños. Para traumatología, las variables de temperatura lluvia y contaminación ambiental no son significativamente relevantes, lo que concuerda si pensamos que los golpes son independientes de factores ambientales.

### 12.4.3. Resultados

Los resultados obtenidos para cada modelo varían, pero siendo la Support Vector Regression la de menor error.

En la siguiente tabla se muestran los errores dados por el Error Absoluto Porcentual de la Media (MAPE) que fue descrito en el marco teórico.

	Regresión Lineal	Medias Móviles	Red Neuronal	SVR
HLCM Demanda Pediatria	10,02%	10,25%	9,92%	9,87%
HLCM Demanda Traumatología	18,31%	18,44%	17,65%	17,22%

**Tabla 23: Error Absoluto Porcentual de la Media (MAPE) de modelos diarios**

Es interesante ver que en pediatría es mucho más fácil de predecir que en traumatología, y esto puede explicarse por que la volatilidad de ésta es muchísimo mayor.

## 12.5. Desagregando Modelo Mensual

### 12.5.1. Datos

Si bien este trabajo muestra las potencialidades de un modelo desagregado, para el proyecto real lo que se utilizó fue la desagregación del modelo mensual; para eso se utilizó la distribución histórica a través de las semanas. El primer paso, y el más sencillo, es dividir el pronóstico en la cantidad de semanas que tiene un mes en particular. Luego, aplicando la distribución semanal, se obtiene cuántos pacientes llegan cada semana.

Para el box de pediatría es interesante ver que los días lunes hay un aumento significativo en la cantidad de pacientes que concurren a la urgencia.

Esto se puede deber a que las enfermedades no tan graves son postergadas en su atención durante el fin de semana y, por lo tanto, se acumulan para el día lunes. A pesar de este comportamiento, se puede observar una cierta estabilidad en torno al 14%.

Día	Porcentaje
Lunes	16,7%
Martes	14,6%
Miércoles	14,1%
Jueves	13,7%
Viernes	13,6%
Sábado	13,5%
Domingo	13,9%

**Tabla 24: Porcentaje de Atenciones por día en pediatría**

A diferencia del box de pediatría, para el box de traumatología se puede apreciar una cierta estabilidad los días de semana y una considerable baja en el porcentaje de atenciones durante el fin de semana. Esto es consistente con lo descubierto en las correlaciones de los modelos con los días de clases.

Día	Porcentaje
Lunes	16,5%
Martes	16,7%
Miércoles	16,1%
Jueves	16,4%
Viernes	14,3%
Sábado	10,1%
Domingo	9,9%

**Tabla 25: Porcentaje de Atenciones por día en traumatología**

Posteriormente, para llegar a un nivel intra-diario, a cada día se le aplicó una distribución histórica para las horas, donde se observó que la distribución es constante a través de todos los meses, pero con una amplitud distinta. Sin embargo, este efecto es capturado por el pronóstico de demanda mensual, por lo que se ocupó una distribución constante para todos los días del año pero tomando

la distribución para los distintos días de la semana y considerando cuantos días tiene el mes.



**Ilustración 62: Distribución horaria de atención**

De manera más detallada, podemos ver los datos de la distribución horaria en la Tabla 26

Hora Llegada	Porcentaje de atenciones en el día
00:00 – 00:59	2,25%
01:00 – 01:59	1,34%
02:00 – 02:59	0,81%
03:00 – 03:59	0,61%
04:00 – 04:59	0,31%
05:00 – 05:59	0,26%
06:00 – 06:59	0,54%
07:00 – 07:59	0,82%
08:00 – 08:59	2,35%
09:00 – 09:59	4,84%
10:00 – 10:59	6,29%
11:00 – 11:59	7,55%
12:00 – 12:59	7,62%
13:00 – 13:59	7,12%
14:00 – 14:59	6,49%

15:00 – 15:59	6,83%
16:00 – 16:59	6,91%
17:00 – 17:59	6,73%
18:00 – 18:59	6,07%
19:00 – 19:59	5,65%
20:00 – 20:59	5,59%
21:00 – 21:59	5,28%
22:00 – 22:59	4,51%
23:00 – 23:59	3,23%

**Tabla 26: Distribución horaria de atención**

### 12.5.2. Resultados

Para medir resultados de la distribución horaria se tomó un mes representativo, como lo es Septiembre 2008 donde el error del pronóstico se mantiene dentro del error promedio.

Día	Pronosticado	Real	Error Porcentual	Error de pacientes
Lunes	355	358	1%	3
Martes	360	312	13%	48
Miércoles	347	327	6%	20
Jueves	353	339	4%	14
Viernes	307	371	21%	64
Sábado	218	229	5%	11
Domingo	213	205	4%	8

**Tabla 27: Errores Predicción por día en traumatología, Septiembre del 2008**

Día	Pronosticado	Real	Error Porcentual	Error de pacientes
Lunes	771	725	6%	46
Martes	675	678	0%	3
Miércoles	653	657	1%	4
Jueves	632	624	1%	8
Viernes	628	656	4%	28
Sábado	626	701	12%	75
Domingo	641	774	21%	133

**Tabla 28: Errores Predicción por día en pediatría, Septiembre del 2008**

Como se puede apreciar, el error es bastante bajo, considerando que este error incluye una amplificación del error del modelo de predicción Mensual.

En cuanto a los Resultados de la caracterización intra-diaria para predecir el horario dentro del día, para el mismo mes de septiembre son:

Hora	Pronóstico	Real	Error Absoluto	Diferencia
00:00 – 00:59	104	107	3%	3
01:00 – 01:59	62	58	6%	-4
02:00 – 02:59	37	31	17%	-6
03:00 – 03:59	28	20	29%	-8
04:00 – 04:59	14	13	9%	-1
05:00 – 05:59	12	7	42%	-5
06:00 – 06:59	25	36	44%	11
07:00 – 07:59	38	37	2%	-1
08:00 – 08:59	109	120	10%	11
09:00 – 09:59	224	255	14%	31
10:00 – 10:59	291	278	4%	-13
11:00 – 11:59	349	346	1%	-3
12:00 – 12:59	353	342	3%	-11
13:00 – 13:59	329	283	14%	-46
14:00 – 14:59	300	264	12%	-36
15:00 – 15:59	316	287	9%	-29
16:00 – 16:59	320	266	17%	-54
17:00 – 17:59	311	272	13%	-39
18:00 – 18:59	281	242	14%	-39
19:00 – 19:59	261	234	10%	-27
20:00 – 20:59	259	228	12%	-31
21:00 – 21:59	244	217	11%	-27
22:00 – 22:59	209	191	8%	-18
23:00 – 23:59	149	128	14%	-21

**Tabla 29: Resultados Distribución Horaria en Box pediatría Septiembre 2008**

Aquí el error promedio esta en torno al 13%

Hora	Pronóstico	Real	Error Absoluto	Diferencia
00:00 – 00:59	40	46	14%	6
01:00 – 01:59	20	18	8%	-2
02:00 – 02:59	9	2	79%	-7
03:00 – 03:59	5	1	81%	-4
04:00 – 04:59	3	2	20%	-1
05:00 – 05:59	2	3	53%	1
06:00 – 06:59	3	1	70%	-2
07:00 – 07:59	8	10	28%	2
08:00 – 08:59	40	56	39%	16
09:00 – 09:59	91	112	23%	21
10:00 – 10:59	111	141	27%	30
11:00 – 11:59	144	171	19%	27
12:00 – 12:59	159	180	13%	21
13:00 – 13:59	157	176	12%	19
14:00 – 14:59	149	159	7%	10
15:00 – 15:59	165	200	21%	35
16:00 – 16:59	165	198	20%	33
17:00 – 17:59	160	169	6%	9
18:00 – 18:59	144	182	26%	38
19:00 – 19:59	147	203	38%	56
20:00 – 20:59	135	164	22%	29
21:00 – 21:59	126	162	28%	36
22:00 – 22:59	102	115	13%	13
23:00 – 23:59	69	69	0%	0

**Tabla 30: Resultados distribución horaria box traumatología septiembre 2008**

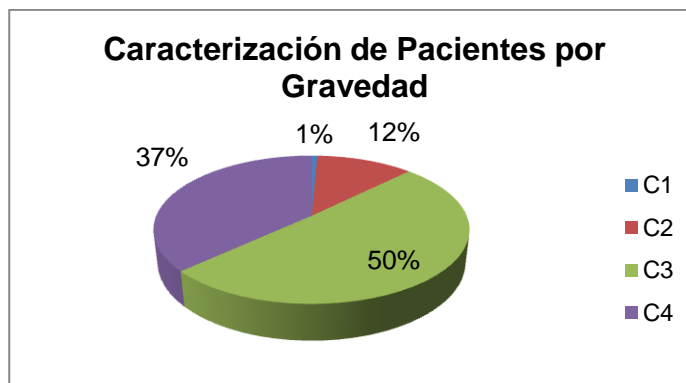
Para traumatología el error promedio es mayor en torno al 25% lo que tiene sentido ya que la cantidad de pacientes es menor.

## **12.6. Caracterización histórica**

Uno de los temas importantes para el hospital no sólo es la cantidad de pacientes que llegan a la sala de urgencia, sino el que se deben caracterizar según su gravedad y el que se debe tener un estimado de cómo llegan dentro del día. Esto sirve para estar preparados ya que los pacientes más graves deben pasar más tiempo con los médicos que los pacientes menos graves. Teniendo

esta caracterización se puede estimar la cantidad de recursos necesarios para una atención de calidad.

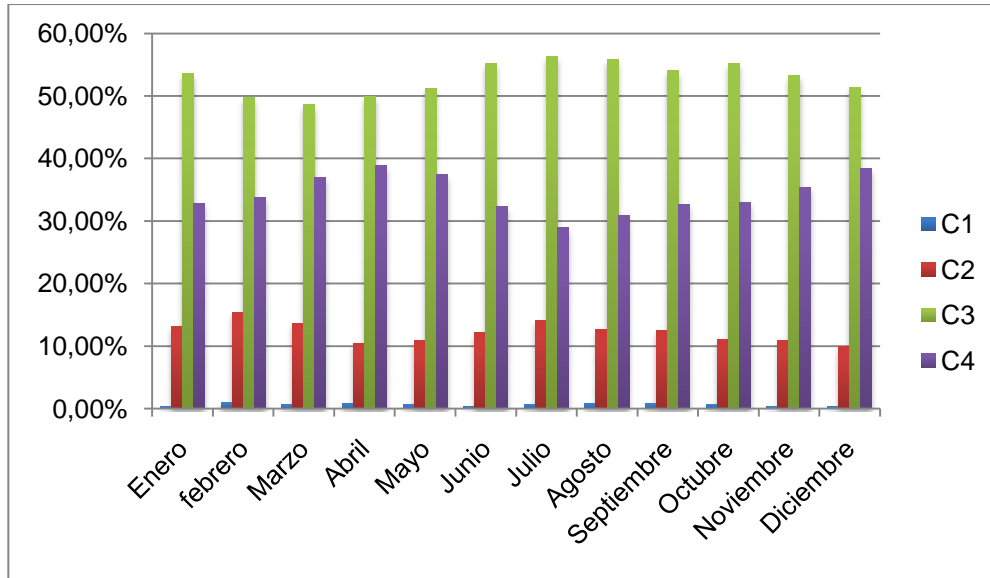
La gravedad de los pacientes puede ser obtenida en base a distribuciones históricas. A nivel anual se tiene una distribución como se muestra en la gráfica.



**Ilustración 63: Caracterización de pacientes por gravedad**

Se puede hacer el supuesto de que en el futuro estas distribuciones serán relativamente estables. Este supuesto es válido ya que la gravedad durante los años que se tienen registro, no varió significativamente durante los meses. Sin embargo para que el supuesto de la estabilidad de las categorías sean válidos se debe llegar a un nivel más desagregado ya que entre los meses sí hay diferencias significativas tal como se muestra en la Ilustración 64





**Ilustración 64: Distribución de categorías por mes**

Donde los datos obtenidos se pueden ver de forma detallada en la Tabla 31

	C1	C2	C3	C4
Enero	0,37%	13,19%	53,57%	32,87%
Febrero	1,03%	15,35%	49,79%	33,83%
Marzo	0,70%	13,65%	48,63%	37,03%
Abril	0,78%	10,49%	49,88%	38,85%
Mayo	0,58%	10,89%	51,14%	37,38%
Junio	0,30%	12,20%	55,23%	32,27%
Julio	0,67%	14,05%	56,36%	28,92%
Agosto	0,80%	12,63%	55,76%	30,81%
Septiembre	0,75%	12,47%	54,10%	32,68%
Octubre	0,71%	11,10%	55,15%	33,03%
Noviembre	0,35%	10,96%	53,28%	35,40%
Diciembre	0,32%	9,95%	51,35%	38,38%

**Tabla 31: Distribución de categorías por mes**

### 12.6.1. Resultados

Aplicando esta forma de distribuir a las predicciones a nivel mensual se obtuvo el siguiente resultado para el periodo de todo un año de validación.

<b>C1</b>	<b>Real</b>	<b>Pronosticado</b>	<b>Error</b>
Mar-08	28	29	2%
Abr-08	27	40	50%
May-08	16	36	120%
Jun-08	13	17	30%
Jul-08	36	32	13%
Ago-08	44	31	29%
Sep-08	21	33	57%
Oct-08	44	37	16%
Nov-08	18	21	16%
Dic-08	14	18	25%
Ene-09	23	16	30%
Feb-09	10	31	215%

**Tabla 32: Errores categorización C1 en pediatría**

<b>C2</b>	<b>Real</b>	<b>Pronosticado</b>	<b>Error</b>
Mar-08	425	559	31%
Abr-08	456	536	18%
May-08	309	678	119%
Jun-08	433	698	61%
Jul-08	606	664	10%
Ago-08	548	495	10%
Sep-08	332	548	65%
Oct-08	387	571	47%
Nov-08	316	635	101%
Dic-08	296	542	83%
Ene-09	485	580	19%
Feb-09	317	468	48%

**Tabla 33: Errores categorización C2 en pediatría**

<b>C3</b>	<b>Real</b>	<b>Pronosticado</b>	<b>Error</b>
Mar-08	1859	1993	7%
Abr-08	2722	2547	6%
May-08	2133	3182	49%
Jun-08	2269	3162	39%
Jul-08	2725	2665	2%
Ago-08	2734	2187	20%
Sep-08	2280	2375	4%
Oct-08	2627	2837	8%
Nov-08	2143	3086	44%

Dic-08	2074	2797	35%
Ene-09	2364	2354	0%
Feb-09	1577	1519	4%

**Tabla 34: Errores categorización C3 en pediatría**

<b>C4</b>	<b>Real</b>	<b>Pronosticado</b>	<b>Error</b>
Mar-08	1507	1517	1%
Abr-08	2171	1984	9%
May-08	1612	2326	44%
Jun-08	1174	1848	57%
Jul-08	1325	1367	3%
Ago-08	1292	1208	7%
Sep-08	1302	1435	10%
Oct-08	1506	1700	13%
Nov-08	1496	2051	37%
Dic-08	1692	2091	24%
Ene-09	1179	1444	22%
Feb-09	1105	1032	7%

**Tabla 35: Errores categorización C4 en pediatría**

Así mismo, para el Box de traumatología tenemos los siguientes resultados para los distintos tipos de categorías

<b>C1</b>	<b>Real</b>	<b>Pronosticado</b>	<b>Error</b>
Mar-08	12	16	36%
Abr-08	35	20	43%
May-08	17	14	19%
Jun-08	4	6	39%
Jul-08	5	10	87%
Ago-08	9	18	96%
Sep-08	24	15	35%
Oct-08	3	18	539%
Nov-08	3	9	219%
Dic-08	4	6	37%
Ene-09	9	5	40%
Feb-09	7	12	67%

**Tabla 36: Errores categorización C1 en traumatología**

<b>C2</b>	<b>Real</b>	<b>Pronosticado</b>	<b>Error</b>
Mar-08	386	319	17%
Abr-08	357	269	11%
May-08	321	253	0%
Jun-08	279	226	14%
Jul-08	289	206	10%
Ago-08	302	286	6%
Sep-08	412	255	23%
Oct-08	395	287	19%
Nov-08	353	285	10%
Dic-08	271	178	18%
Ene-09	204	190	57%
Feb-09	165	183	94%

**Tabla 37: Errores categorización C2 en traumatología**

<b>C3</b>	<b>Real</b>	<b>Pronosticado</b>	<b>Error</b>
Mar-08	955	1137	19%
Abr-08	1064	1278	20%
May-08	726	1186	63%
Jun-08	916	1024	12%
Jul-08	828	827	0%
Ago-08	997	1263	27%
Sep-08	727	1106	52%
Oct-08	1126	1427	27%
Nov-08	1024	1385	35%
Dic-08	736	917	25%
Ene-09	705	771	9%
Feb-09	463	592	28%

**Tabla 38: Errores categorización C3 en traumatología**

<b>C4</b>	<b>Real</b>	<b>Pronosticado</b>	<b>Error</b>
Mar-08	614	866	41%
Abr-08	738	995	35%
May-08	554	867	56%
Jun-08	705	599	15%
Jul-08	507	424	16%
Ago-08	787	698	11%
Sep-08	534	668	25%

Oct-08	755	855	13%
Nov-08	598	920	54%
Dic-08	449	685	53%
Ene-09	424	473	12%
Feb-09	496	402	19%

**Tabla 39: Errores categorización C4 en traumatología**

Los mayores errores se comenten en las categorías con menor cantidad de pacientes; esto se debe a que cada paciente que se equivoca, influirá más en el porcentaje de error. Si se utiliza un error de promedio ponderado por el peso que aporta cada categoría, el error está entorno al 20%; esto se explica, por una parte, por el error que se comete al pronosticar, que es en torno al 5% y, por otro lado, este error se amplifica al introducir un nuevo error de caracterización; sin embargo, este número puede ser utilizado *grosso modo* para una planificación de recursos.

## **12.7. Análisis de demanda**

### **12.7.1. Antecedentes**

Se desea conocer la cantidad de personal asistencial requerido en los diversos turnos, días y áreas del servicio de urgencias. Esto consiste en una planificación a lo largo de todo el plazo pronosticado debido a que, por las características propias de un hospital, la cantidad de personal necesario para cubrir las diversas áreas deberá ser propuesta una sola vez a final de año y se mantendrá constante mes a mes con algunas excepciones en aquellos periodos de *peak* epidemiológico. Para poder estimar la cantidad de personas que se necesitan se deben tener en cuenta una serie de factores como son, entre otros, los turnos en los cuales se programa el personal. A continuación se muestra la configuración de estos turnos en el hospital.

Turno de la mañana	8:00 – 19:59
Turno de la noche	20:00 – 7:59

Además, cada empleado cuenta con 45 minutos destinados para alimentarse: almorzar, cenar o desayunar. Adicionalmente a lo anterior, fueron considerados otros tiempos como el de baño, administración y docencia que fueron consensuados con el hospital. Estas actividades se ven reflejadas en el tiempo que disponen para atender pacientes.

Otros	
Administración	15 min cada 2 horas
Baño	15 min cada 2 horas
Alimentación	45 minutos por turno
Docencia	20 minutos cada 2 horas de lunes a viernes de 14 a 20hrs

La parte interesante de este modelo es que ocupará una demanda que viene pronosticada por los modelos anteriormente descritos. Esta información, permite conocer y adecuar la cantidad de médicos necesarios en cada box para realizar una atención de calidad a los pacientes que ingresan diariamente al área de urgencias en los diversos turnos.

La segmentación logró evidenciar que cada semana dentro de un mes tiene un comportamiento similar. Entonces, tomando los pronósticos mensuales y asumiendo que la demanda es constante dentro de ese mes, se puede tener un pronóstico diario aplicando la distribución semanal y horaria descrita en el capítulo anterior, y así se puede obtener el dato aproximado de cuantos pacientes llegaran por cada turno durante un año corrido.

Por otra parte, también se debe considerar que cada paciente posee diversas clasificaciones como también fue explicado. Aplicando la distribución de categorización a los datos obtenidos anteriormente es posible obtener la segmentación de pacientes. Además, se debe tener en cuenta que el tiempo de atención depende según la categoría. A continuación se muestra una tabla con tiempos de atención que fueron consensuados con el hospital:

Atención Ambulatoria	
C1	120 minutos
C2	60 minutos
C3	20 minutos
C4	10 minutos
Controles	15 minutos

Existe también una cantidad mínima de personal que debe permanecer en cada área independiente de que ingresen o no pacientes en ésta, y que deben estar por seguridad; en particular se definió que como mínimo debería haber un médico por especialidad de turno. También hay casos en que se puede requerir más de un doctor para una atención; por ejemplo para los casos graves (C1) se tiene una atención por doctores.

### 12.7.2. Modelo de Programación Lineal

#### Supuestos y simplificaciones del modelo

- El Modelo está hecho para 1 mes en particular, pero se puede ampliar a  $n$  meses, agregando un índice  $m \in M$  Meses  $\{1, \dots, 12\}$
- El número de atenciones dentro de una semana son distintas para cada día; sin embargo se asume que dentro cada mes, las semanas tienen un comportamiento idéntico.
- Los turnos se mantienen idénticos a los propuestos por el hospital: 2 turnos de 12 horas cada uno; sin embargo, el modelo es fácilmente ampliable a distintos tipos de de turno, como turnos de 8 horas, y turnos de 1 hora que representa una granularidad máxima para ajustarse de forma perfecta a la demanda.
- Se asume que toda la demanda que llega en un turno debe ser atendida por ese mismo turno. (el modelo considera que toda la demanda llega al inicio del turno).

#### Conjuntos

$c \in C$  Categorías de Pacientes  $\{C1, C2, C3, C4\}$

$d \in D$  Días {Lunes, Martes, Miércoles, Jueves, Viernes, Sábado, Domingo}

$t \in T$  Turnos {Dia, Noche}

$a \in A$  Actividades {pediatra, traumatología o cirugía}

### Parámetros

- $Minimo_{a,d,t}$  : Número mínimo de trabajadores en la actividad  $a$  que debe haber en el turno  $t$  del día  $d$
- $Minutos_{a,c}$  : Tiempo en minutos requerido para atender a un paciente en la actividad tipo  $a$ , de la categoría  $c$
- $demanda_{c,d,a,t}$  : Número de pacientes tipo  $c$  que ingresan en el día  $d$  requiriendo atención en actividad tipo  $a$  en el turno  $t$ .
- $q_{a,c}$  : Número de personas destinadas a la actividad tipo  $a$  necesarias para atender un paciente por tipo de categoría  $c$ .
- $o_t$  : Duración en minutos del turno  $t$ .
- $d_t$  : Tiempo en horas destinado a descansos y suplementos, en cada turno
- $s_t$  : Minutos disponibles de trabajo en tiempo regular por turno  $t$

$$s_t = o_t - d_t, \forall t \in T$$

### Variables de decisión

- $y_{a,d,t}$  Cantidad de médicos para la actividad  $a$  usados para atender pacientes en día  $d$  en el turno  $t$ .



- $r_{a,d,t}$  Minutos a trabajar regularmente por los trabajadores en la actividad  $a$  en el día  $d$  en el turno  $t$ .

### Restricciones

1. Satisfacer demanda diaria de horas de atención de pacientes  $i$  que requieren actividades de tipo  $a$

$$r_{a,d,t} = \sum_{c \in C} (Demanda_{c,d,a,t} \cdot Minutos_{a,c} \cdot q_{a,c}) \quad \forall d \in D, \forall a \in A, \forall t \in T$$

$$y_{a,d,t} \geq r_{a,d,t}/s_t \quad \forall d \in D, \forall a \in A, \forall t \in T$$

2. Respetar el mínimo de trabajadores de cada tipo  $p$  en cada turno  $t$  de cada día  $d$

$$y_{a,d,t} \geq Minimo_{a,d,t} \quad \forall d \in D, \forall a \in A, \forall t \in T$$

3. Considerar el número de médicos en la actividad  $a$  en cada turno  $t$  de cada día  $d$  para que sea capaz de atender emergencias (más de un doctor)

$$y_{a,d,t} \geq q_{a,d,t} \quad \forall d \in D, \forall a \in A, \forall t \in T$$

4. Naturaleza de las Variables

$$y_{a,d,t} \geq 0 \quad \forall d \in D, \forall a \in A, \forall t \in T$$

$$y_{a,d,t} \in \mathbb{N} \quad \forall d \in D, \forall a \in A, \forall t \in T$$

## **Función Objetivo**

Minimizar el número de doctores requeridos

$$MIN \sum_{d \in D} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} y_{a,d,t}$$

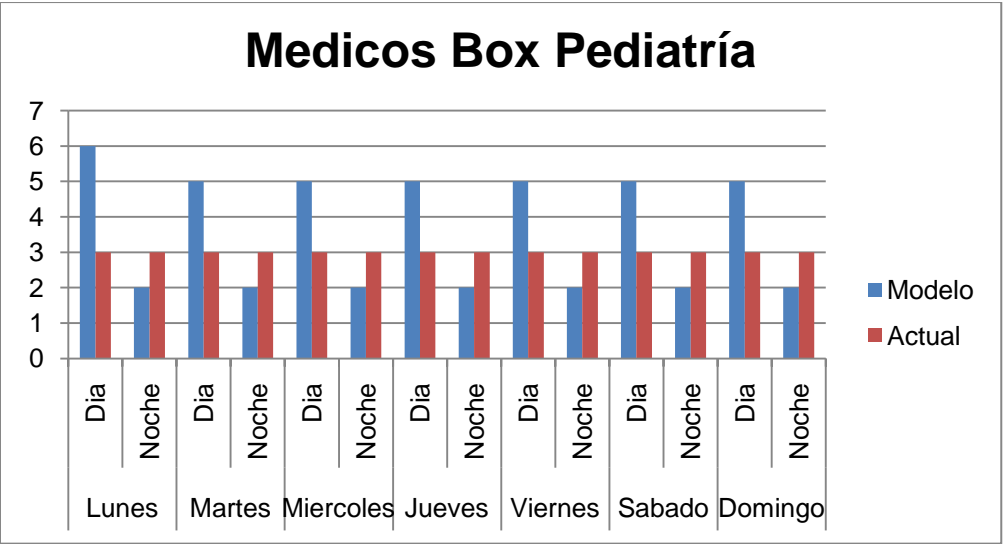
### **12.7.3. Resultados**

El modelo de programación lineal anteriormente descrito fue implementado en un software de optimización gratuito llamado ZIMPL (Koch, 2004) y a través del Solver no comercial llamado SCIP (Achterberg, 2007). La implementación completa se puede ver en el Anexo VII.

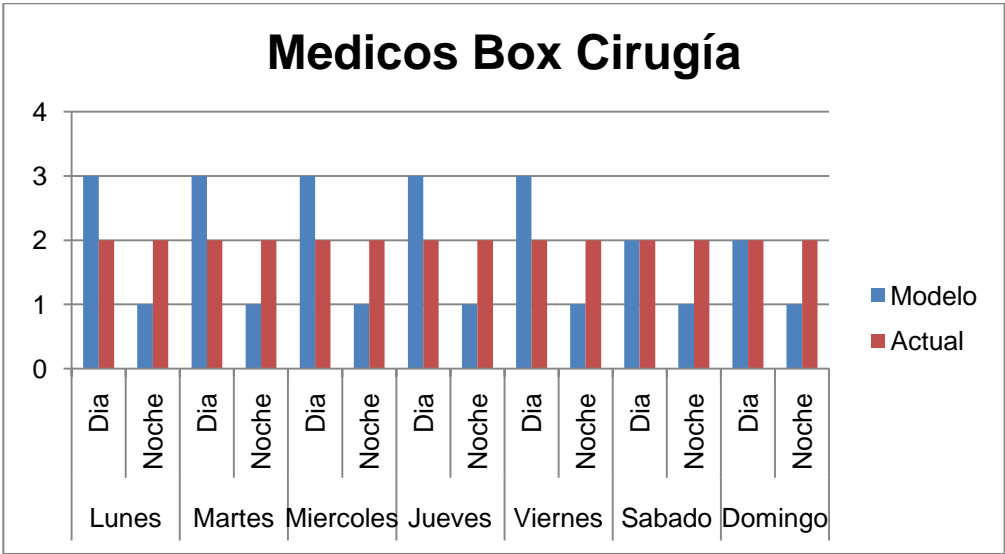
Se probó con datos pronosticados de la demanda de septiembre del 2008; sin embargo, el modelo puede ser ocupado con todo un año de anticipación, corriendo este mismo modelo con los datos de entrada correspondientes para cada mes.

Hay que destacar que en la actualidad hay 3 médicos en pediatría y 2 en Cirugía para todo turno.

Los resultados del modelo se muestran gráficamente en las siguientes ilustraciones.

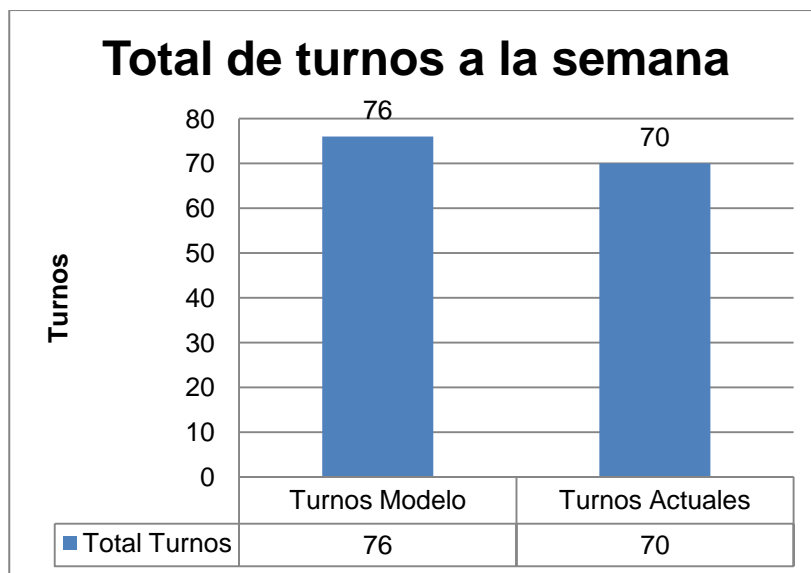


**Ilustración 65: Médicos Pediatras propuestos por el modelo vs actuales**



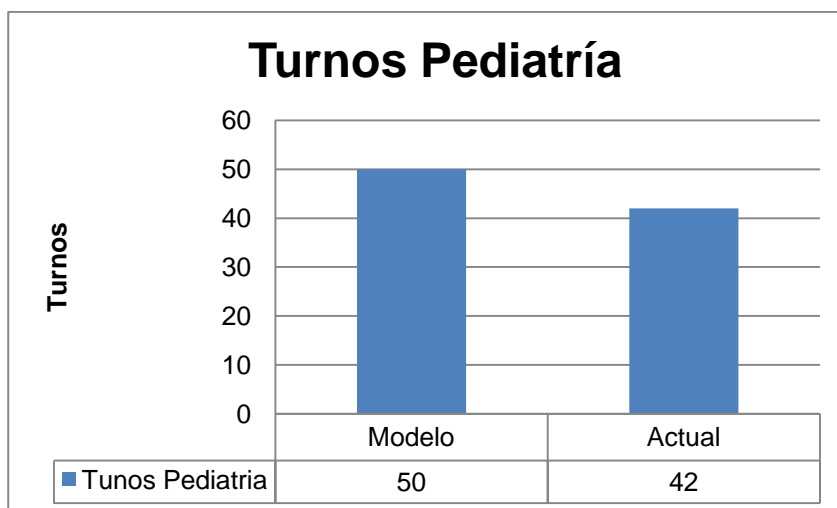
**Ilustración 66: Médicos Traumatólogos propuestos por el modelo vs actuales**

Sumando el total de turno se puede ver que hay un déficit para el óptimo de 6 turnos, lo que equivale a un 8,6% del total de turnos.



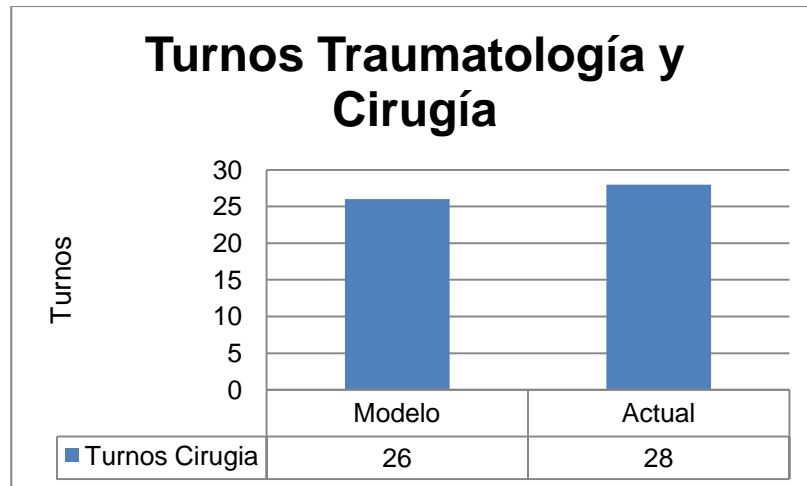
**Ilustración 67: Total de Turnos a la semana**

Desagregando los turnos por especialidad se ve que en pediatría hay un déficit de 8 turnos correspondiente a un 19,0% extra



**Ilustración 68: Total de Turnos a la semana en pediatría**

En cirugía se aprecia que está levemente superior a lo recomendado en un -7,1%



**Ilustración 69: Total de Turnos a la semana en traumatología y Cirugía**

Haciendo una mejor distribución de los turnos en urgencia, la espera de los pacientes se reducirá prácticamente a cero. Sin embargo, la cantidad de recursos necesarios para esta distribución óptima es de tan sólo un 8,6% extra.

Este modelo es altamente flexible y reproducible a un año en el futuro, por lo que puede ser una excelente herramienta de gestión.

## **12.8. Mantención de modelos en el tiempo**

En esta lógica de negocio se propone una **guía base** de cómo se deben mantener los modelos en el tiempo; sin embargo hay criterios que deben ser evaluados y ponderados por el analista antes de tomar una decisión definitiva, ya sea para recalibrar o cambiar el modelo.

Esta lógica fue basada en el trabajo de Cristián Julio (Julio, 2009) pero adaptada a modelos de series de tiempo en vez de modelos de Scoring y segmentación.

Esta lógica debe aplicarse rutinariamente en conjunto con el uso de la herramienta de predicción. Para ello se definen cuatro pasos importantes para mantener el modelo en el tiempo: “comparación del modelo Vs Realidad”,

Desarrollar un “criterio de obsolescencia”, “Recalibrar el modelo” y “Desarrollar un nuevo modelo”

### 12.8.1. Comparar Modelo VS Realidad

Una primera aproximación para ver el funcionamiento es cuantificar la capacidad predictiva del modelo en base al valor MAPE. Determinar si ésta ha cambiado, respecto de cuando el modelo fue calibrado.

Para cuantificar la capacidad predictiva del modelo, se debe comparar cuánto coincide su pronóstico con los resultados reales de la demanda incorporados después de la última recalibración del modelo

Para esto, se debe actualizar el error MAPE considerando sólo los valores de la demanda representados por  $F(X_i)$  que no fueron utilizados para la entrenamiento ni el testeo.

$$Mape\_error = \sum_i \frac{|(\tilde{F}(X_i) - F(X_i))|}{F(X_i)}$$

Adicionalmente se proponen 2 criterios de comparación en función del error medio porcentual absoluto (MAPE) y el intervalo de confianza para evaluar el desempeño del modelo.

#### 12.8.1.1. Criterio de comparación MAPE

En base a los nuevos datos adquiridos en el tiempo, se propone una comparación en base al criterio MAPE.

Sea  $X_i$  el Vector de variables relevantes para el pronóstico en periodo  $i$

Sea  $Y_i$  Resultado para el periodo  $i$

$$D = \{(X_i, Y_i) | X_i \in \mathbb{R}^n, Y_i \in \mathbb{R}\}$$

$$F: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$$

$$F(X_i) = Y_i$$

Dividir  $D$  en tres conjuntos, Entrenamiento  $E$  y Testeo  $T$ , usualmente se hace una partición 70% y 20% respectivamente dejando el 10% restante para el conjunto de Validación  $V$ .

$$E, T, V \subset D$$

Entonces  $\tilde{F}(X_i)$  representa una predicción por el modelo para el periodo  $i$  tal que:

$$\tilde{F}(X_i) = F(X_i) + error_i$$

Entonces el error para el modelo viene dado por

$$error = \sum_i (\tilde{F}(X_i) - F(X_i))$$

Sin embargo, y tal como se explicó en el marco teórico, una mejor medida del error es el MAPE debido a que es un error porcentual que no diferencia entre errores positivos y negativos

$$Mape\_error = \sum_i \frac{|\tilde{F}(X_i) - F(X_i)|}{F(X_i)}$$

En particular se considera sólo los valores de  $X_i \in V$  Conjunto fuera de los datos de entrenamiento y testeo, para obtener el valor que representa el error del modelo, y que fue usado en la comparación para los resultados de este trabajo.

Entonces cada nuevo dato  $F(X_i)$  se puede comparar con la predicción y se considera dentro del rango aceptable si el valor es menor al MAPE es decir si

$$0 \leq \frac{|\tilde{F}(X_i) - F(X_i)|}{F(X_i)} \leq Mape\_error$$

### 12.8.1.1. Criterio de comparación intervalo de confianza

Tal como se describió para los pronósticos, puede calcularse un intervalo de confianza como  $\pm N$  veces la desviación estándar dependiendo de porcentaje la confianza que se quiera tal como lo indica la siguiente tabla:

Porcentaje	N
80%	1,28155
90%	1,64485
95%	1,95996
98%	2,32635
99%	2,57583
99,5%	2,80703
99,8%	3,09023
99,9%	3,29052
99,99%	3,8906
99,999%	4,4172

Tabla 40: Tabla distribución normal con media cero

Para el caso particular de este proyecto, se utilizó un intervalo de confianza de 95%, es decir con 1,96 veces la desviación estándar. Cabe destacar que esto es aplicable para los errores que se distribuyen de forma normal y con una media cero, tal como ocurrió en este proyecto.

Entonces, matemáticamente, se considera fuera de rango si

$$F(X_i) - N * DesvEstandar \leq \tilde{F}(X_i) \leq F(X_i) + N * DesvEstandar$$

### 12.8.2. Criterio de obsolescencia

El criterio de obsolescencia depende de la precisión que se quiera el modelo.

#### 12.8.2.1. Criterio de obsolescencia MAPE

Se considera un número N de periodos tal que si cada uno de estos últimos N periodos el valor del MAPE supera el error promedio del modelo previamente



calculado, entonces se considera obsoleto y debe recalibrarse o generar un nuevo modelo

Vale decir, de forma matemática si

$$0 \leq \frac{|\tilde{F}(X_i) - F(X_i)|}{F(X_i)} \leq \text{Mape\_error}$$

Para este proyecto se considera el modelo obsoleto si durante tres periodos seguidos el valor del error es mayor al MAPE del modelo.

### **12.8.2.2. Criterio de obsolescencia intervalo de confianza**

Análogamente, se puede establecer un criterio de obsolescencia si es que se considera un número N de periodos tal que si cada uno de estos últimos N periodos el valor del pronóstico esta fuera del intervalo de confianza.

Matemáticamente

$$F(X_i) - N * \text{DesvEstandar} \leq \tilde{F}(X_i) \leq F(X_i) + N * \text{DesvEstandar}$$

Para este proyecto se considera el modelo obsoleto si durante tres periodos seguidos el valor del pronóstico es superior o inferior al intervalo de confianza.

### **12.8.3. Recalibrar modelo**

El analista debe tener pleno conocimiento del modelo utilizado normalmente, incluyendo sus variables de entrada, así como de dominio en técnicas de *Business intelligence*.

Normalmente el proceso de pronóstico va incorporando nueva data a medida que los pronósticos llegan al presente. Esta información puede ser incluida en una nueva calibración del modelo.

Lo anterior significa, por ejemplo, que los pesos de las neuronas de una red cambian, pero no su estructura como la cantidad de neuronas de entrada, de salida, y en la capa oculta.

Sin embargo, este modelo puede quedar obsoleto ya que la población puede haber cambiado su comportamiento radicalmente o se haya modificado una variable importante como la tasa de natalidad, población infantil o la ubicación del hospital. Esto significa que el modelo debe ser rediseñado incorporando esta nueva información.

### **12.8.3.1. Estabilidad de la demanda**

Antes de recalibrar el modelo es aconsejable saber si la demanda mantiene comportamiento de estabilidad; si no es así, se debe buscar el desarrollo de un nuevo modelo.

Es posible establecer un intervalo de estabilidad para la demanda, para lo siguiente definimos:

$X_i$  = Valor de la demanda en el periodo  $i \in \{\text{nuevos datos}\}$

$X^{sup}$  = Límite superior permitido para la demanda, obtenida de la muestra de datos en el conjunto de datos de entrenamiento

$X^{inf}$  = Límite inferior permitido para la demanda, obtenida de la muestra de datos en el conjunto de datos de entrenamiento

Si la demanda cumple que:

$$X^{inf} \leq X_i \leq X^{sup}$$

Entonces se puede asumir que hay una estabilidad en la demanda y es posible simplemente recalibrar el modelo y no crear uno nuevo.

#### **12.8.4.        Desarrollar un nuevo modelo**

Gran parte de esta lógica se puede ver en el Framework propuesto en el capítulo 18, donde se dan pautas de cómo rehacer desde cero un nuevo modelo siguiendo ciertas indicaciones que proveerán un marco para elegir un modelo adecuado para el proyecto.

## **13. Diseño de las Aplicaciones Computacionales**

La metodología a seguir en el diseño de las aplicaciones computacionales para la implementación de este proyecto se llevará a cabo en diferentes etapas. En la primera, se trabajará en los distintos casos de uso obtenidos desde cada uno de los diagramas de pistas BPMN mostrados anteriormente y en segundo lugar, se trabajará en los diferentes diagramas de secuencia para cada uno de los casos de uso previamente definidos. Cabe mencionar que se realizará el diseño de todas las lógicas de negocio propuestas, pero la implementación será solamente del módulo de predicción de demanda.

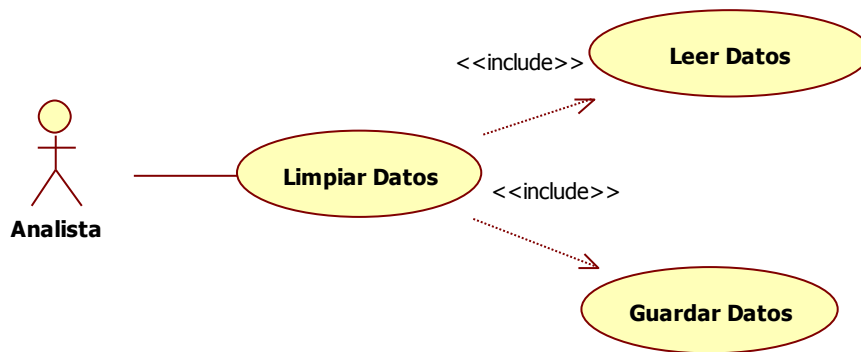
### **13.1. Diagramas de Caso de Uso**

Los diagramas de Caso de Uso diseñados serán analizados por separado para cada uno de los procesos que se trabajaron en este proyecto.

#### **13.1.1. Generación de Pronósticos**

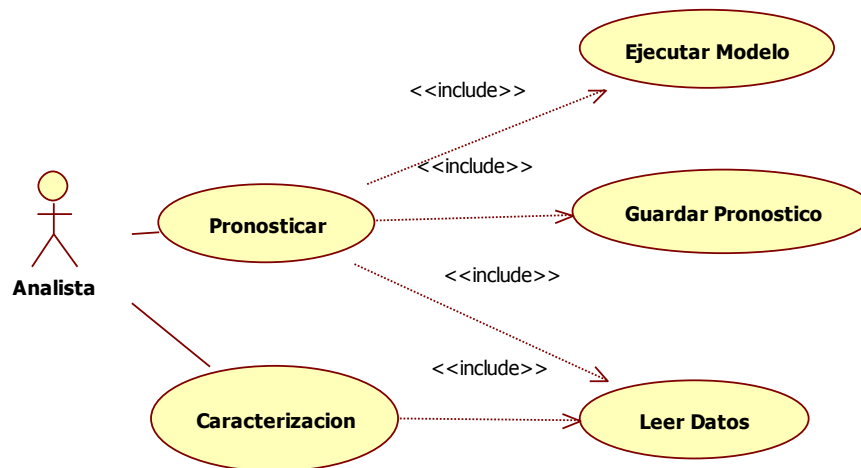
El subproceso de Generación de Pronósticos está conformado por 2 procesos. En primer lugar, tenemos el correspondiente a la Limpieza de Datos, cuyo diagrama BPMN se observa en la Ilustración 47

Después de analizar detalladamente el diagrama de pista, se concluyó que únicamente se diseñaría un Caso de Uso, llamado Limpiar de Datos, ya que todas las actividades que debe desarrollar el sistema son muy simples, pero esta ocupa dos casos de uso indirectamente: Leer Datos y Guardar datos, tal como se muestra en la Ilustración 70



**Ilustración 70: Casos de Uso - Limpiar de Datos**

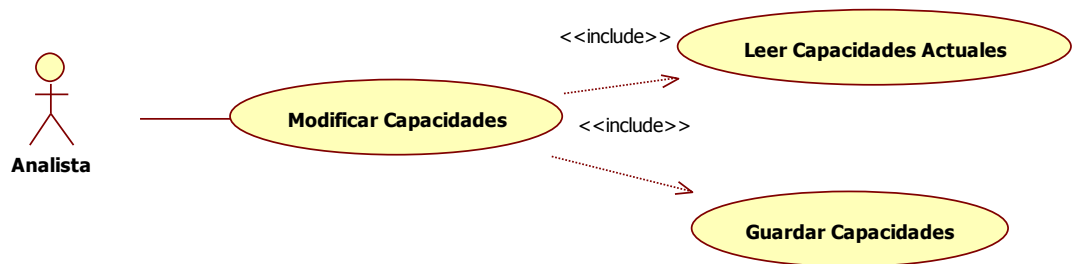
En segundo lugar se tiene en el diagrama de pistas BPMN de la Ilustración 48 que lleva a cabo la ejecución del Modelo de Pronóstico y Caracterización de los pacientes. Este diagrama de pistas también fue representado con sólo dos casos de uso, que incluye dos lógicas de negocio bastante importantes que corresponden a la Predicción de la demanda y posteriormente a su caracterización.



**Ilustración 71: Casos de Uso - Ejecución de Modelos de Pronóstico y Caracterización**

### 13.1.2. Subproceso de Análisis de Capacidades

Para este subproceso se diseñaron dos diagramas de Casos de Uso, uno para el diagrama BPMN, mostrado en la Ilustración 50, el cual está conformado por un único caso de uso que lleva el mismo nombre que el diagrama de pistas “Administración de recursos actuales”, el cual contempla todos los pasos necesarios para llevar a cabo la modificación y actualización de los recursos.



**Ilustración 72: Casos de Uso – Modificar de Capacidades**

Es importante concluir que se diseñó un único Caso de Uso porque las actividades necesarias son en general simples.

Por otra parte, se tiene el diagrama de Casos de Uso correspondiente al diagrama de pistas BPMN mostrado en la Ilustración 51 y que corresponde al análisis de capacidades propiamente tal. Este diagrama, como se muestra a continuación, posee dos Casos de Uso llamados “Analizar de Capacidades” el cual es el encargado de llevar a cabo todas las tareas necesarias para obtener el estado de ocupación de los recursos actuales en el área de urgencias del HLCM, y el “Pedir Sugerencias” en el caso que haya problemas de capacidad.

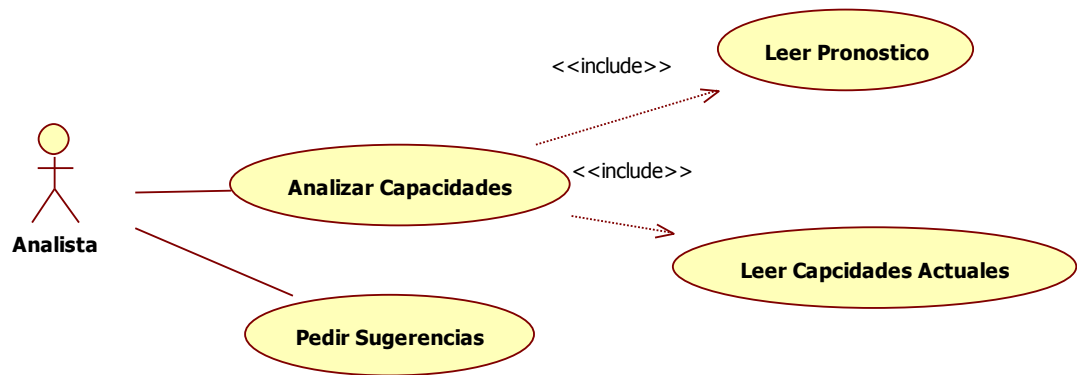


Ilustración 73: Casos de Uso – Análisis de Capacidades

## 13.2. Diagramas de Secuencia de Sistema

A continuación se mostrarán los distintos diagramas de secuencia que se desprenden de los distintos casos de uso.

### 13.2.1. Limpieza de Datos

Para la parte de limpieza de datos se debe hacer una consulta a la base de datos operacional, donde se registran las atenciones de los pacientes. Una vez seleccionados estos datos, el usuario puede o no hacer ajustes a los datos para guardar estos datos en una base de datos propia del sistema.

La interacción anteriormente descrita se traduce en el siguiente diagrama de secuencia:

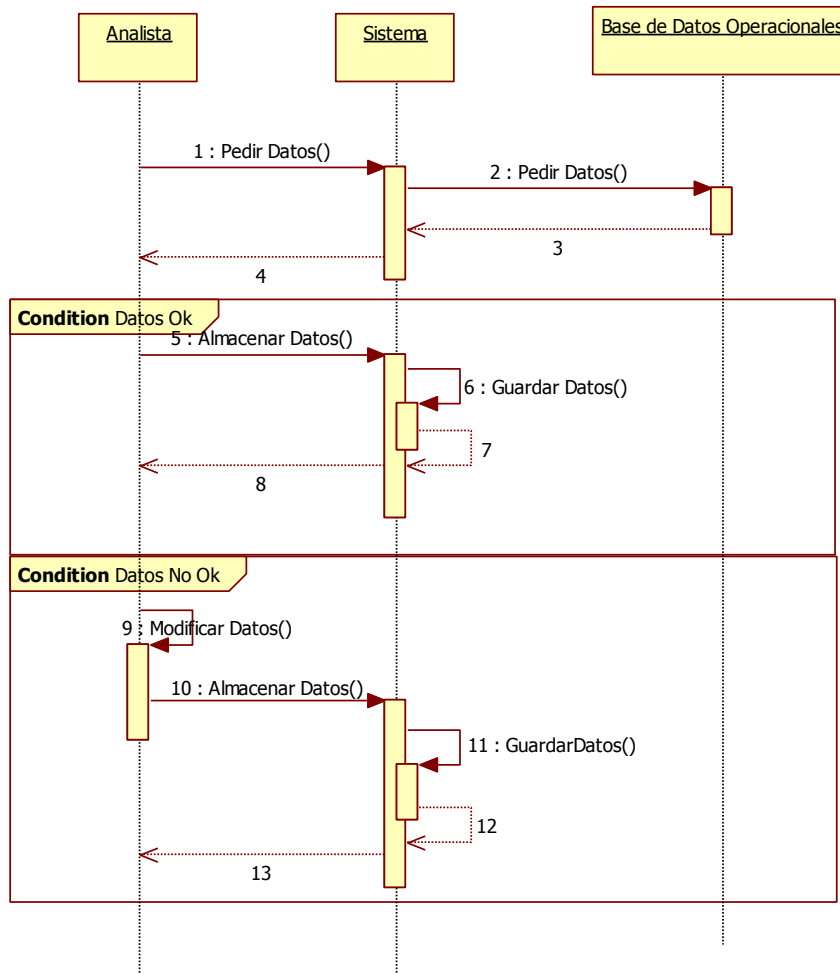


Ilustración 74: Diagrama de Secuencia - Limpiar Datos

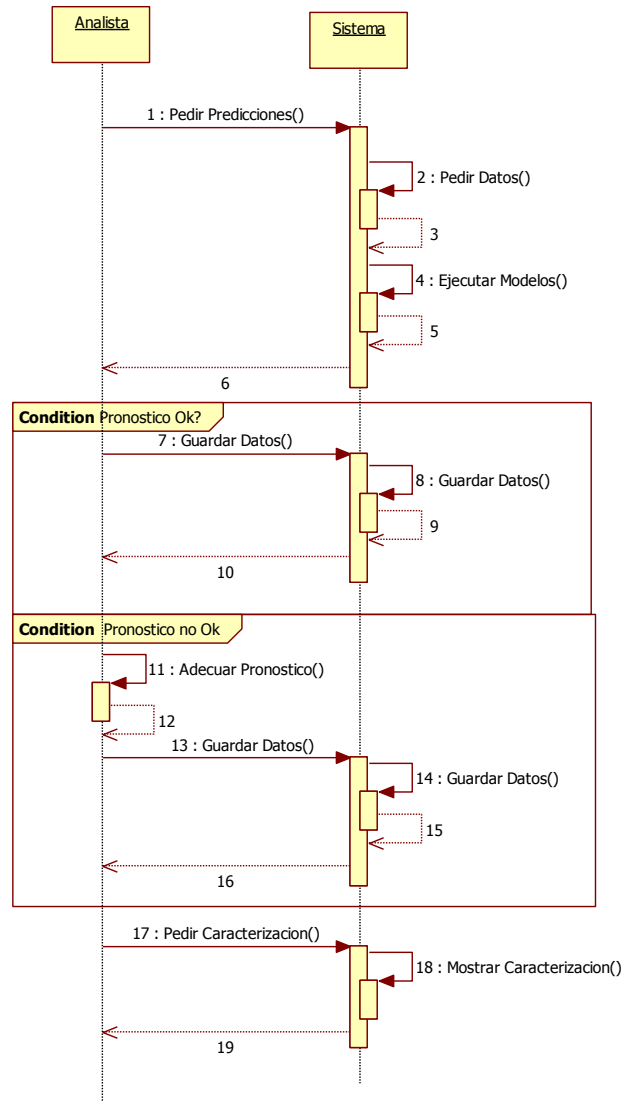
### 13.2.2. Ejecución de Modelos de Pronóstico y Caracterización

Para generar el pronóstico, el sistema hace una consulta a los datos para pasarlos ya limpios, con el fin de entregarlos al modelo de predicción de demanda. El sistema proveerá de los resultados de la predicción. A esta demanda se podrá modificar en el caso de que existan criterios médicos que hagan sospechar un aumento o disminución considerable de la demanda (por ejemplo pandemias).



El último paso corresponde a mostrar la caracterización en base a la predicción realizada. Es importante destacar que la caracterización no es guardada en el sistema ya que se calcula cada vez que se requiere hacer un análisis de demanda

Lo anteriormente descrito se detalla en el siguiente diagrama de secuencia.



**Ilustración 75: Diagrama de Secuencia - Generar Pronóstico**

### 13.2.3. Modificar Capacidades

Para el Caso de Uso de “Modificar Capacidades”, se puede dividir en 2 actividades. La primera de ellas corresponde a pedir los datos actuales a la base de datos del sistema. Luego, si es que los datos actuales no son los correctos, se deben modificar para que esos concuerden con la realidad y posteriormente ser grabados en la base de datos.

Esto traducido a un diagrama de secuencia queda tal como se muestra a continuación:

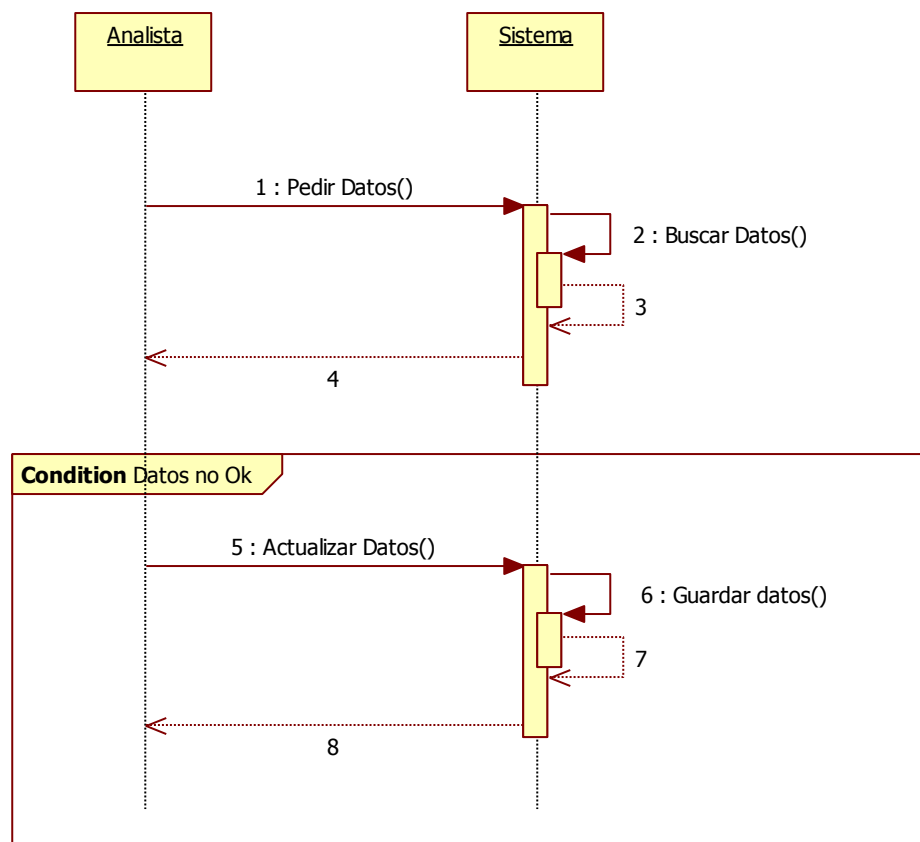


Ilustración 76: Diagrama de Secuencia - Modificar Capacidades

### 13.2.4. Análisis de Capacidades

El paso de Análisis de Capacidades, corresponde a solicitar al sistema el porcentaje de ocupación de los recursos actuales. Debe buscar varios datos relevantes: la cantidad de recursos actuales, los pronósticos de demanda y la categorización de este pronóstico. Luego se ejecuta el modelo de análisis de capacidades, ya sea a nivel estratégico o a nivel operacional.

En el caso que la capacidad se vea superada o muy subutilizada, el sistema podrá hacer sugerencias para mejorar los porcentajes de utilización. Entre estas sugerencias están las planteadas por el modelo de análisis de capacidades anteriormente expuesto

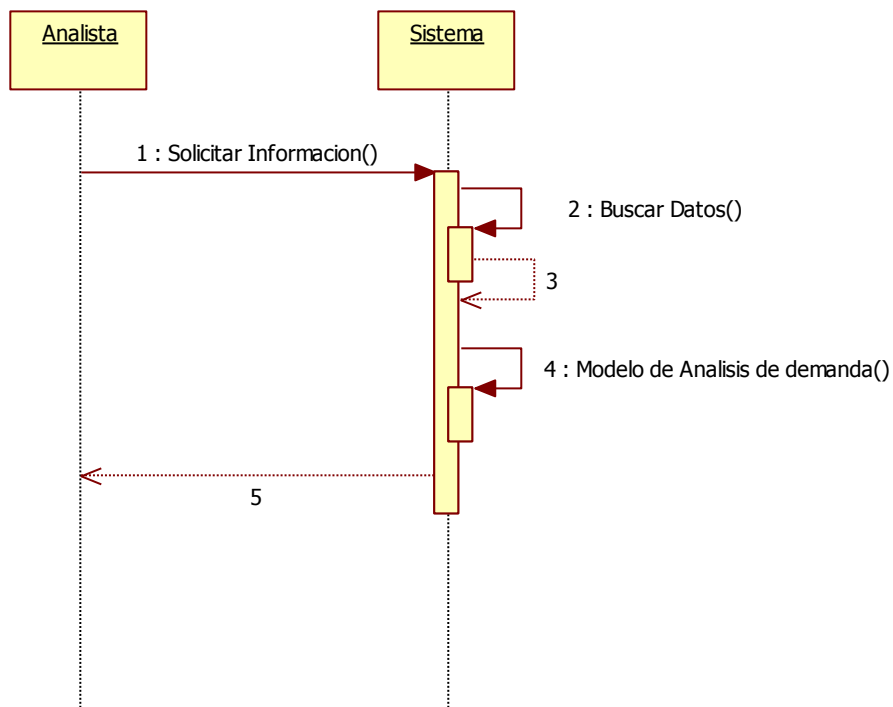


Ilustración 77: Diagrama de Secuencia - Análisis De Capacidades

### **13.3. Diagrama de Secuencia Extendido**

Una vez diseñados los distintos diagramas de secuencias de sistema para cada uno de los diagramas de pistas BPMN, el siguiente paso es el de generar los diagramas de secuencia extendidos con las distintas clases lógicas que interactúan entre sí.

Para el diseño de los diagramas de secuencia extendidos utilizaremos la arquitectura Modelo Vista Controlador (MVC), donde la vista estará representada por una única página web de entrada y una de salida para simplificar el diagrama ya que cada interacción con el usuario tendría una vista distinta.

Con el fin de simplificar los esquemas, cabe señalar que los diagramas no están hechos de una forma totalmente rigurosa; por ejemplo, no se incluirá el requisito inicial por parte del actor para solicitar la página de inicio, sino que ingresará directamente a ella.

#### **13.3.1. Limpieza de Datos**

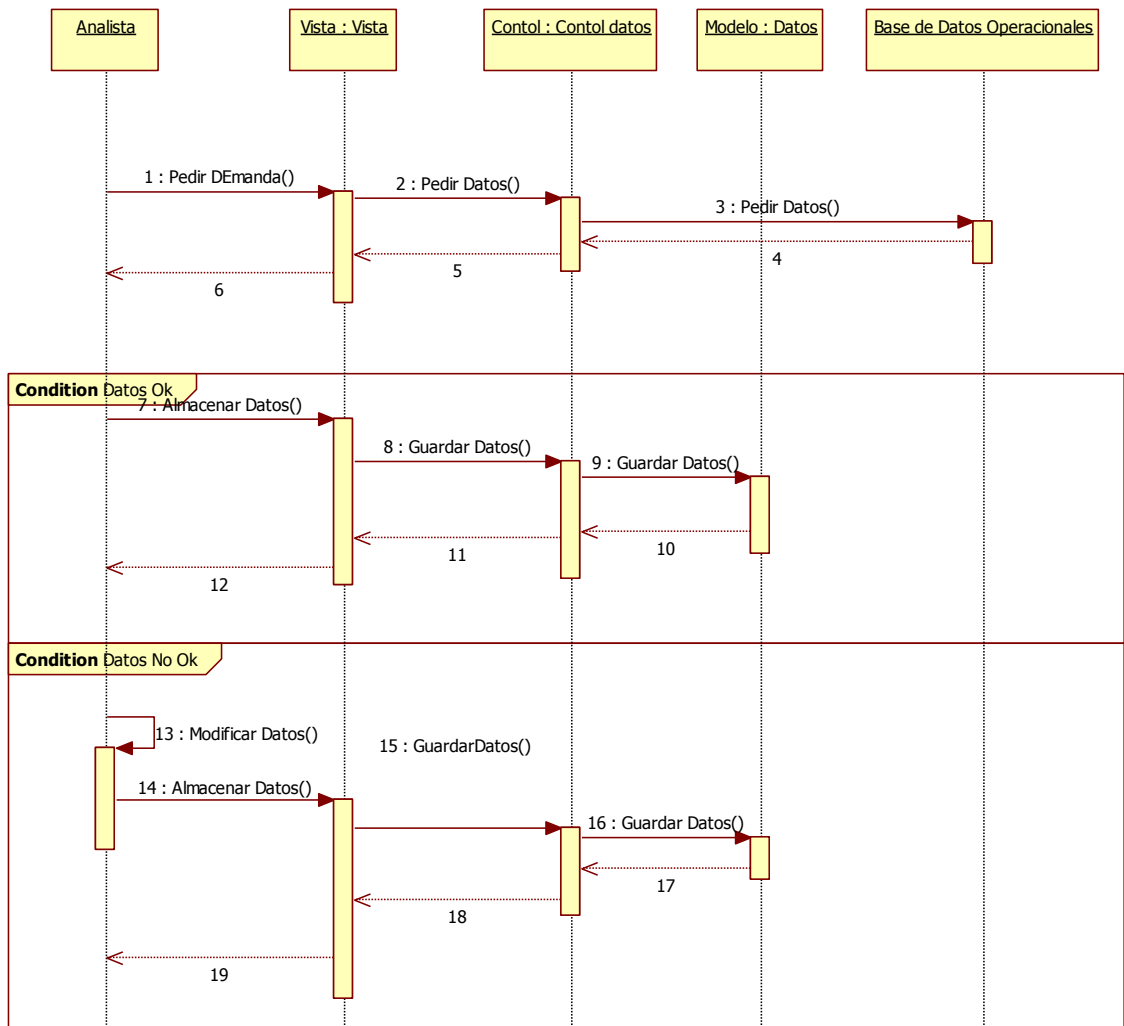
En este diagrama de secuencia extendido, podemos distinguir una vista, el ingreso de datos y la muestra de resultados. Estas interactúan con un control que es el encargado de buscar los datos en el Modelo de la base de datos operacional del hospital. Este puede ser considerado como un nuevo actor dado que es externo al sistema. Por último, el Control de interacción guarda los datos en un Modelo o base de datos propio.

La interacción sigue los siguientes pasos:

- Vista de ingreso, donde selecciona parámetros.
- Control de interacción, pide los datos a las base de datos operacional
- Modelo Base de datos operacional entrega los datos.
- Control de Interacción los devuelve a la vista

- La vista de resultados lo muestra al actor analista
- El actor los modifica en caso de encontrar valores fuera de rango.
- Luego el controlador de interacción de datos pide guardar los datos.
- Por último se guardan los datos en el modelo que representa la base de datos.

La interacción anteriormente descrita se traduce en el siguiente diagrama de secuencia:



**Ilustración 78: Diagrama extendido - limpiar de datos**

### **13.3.2. Ejecutar Pronóstico y Caracterización**

El diagrama que se mostrará a continuación, es uno de los más complejos del sistema. En él se deben hacer varios pasos para producir un pronóstico final y su correspondiente caracterización que será usado mas tarde en el análisis de capacidades.

Al igual que en el diagrama anterior, únicamente se emplearon una clase vista para petición de requerimientos y una para visualizar las respuestas. Existe una única clase de control que realiza las funciones de interacción entre las vistas y el modelo

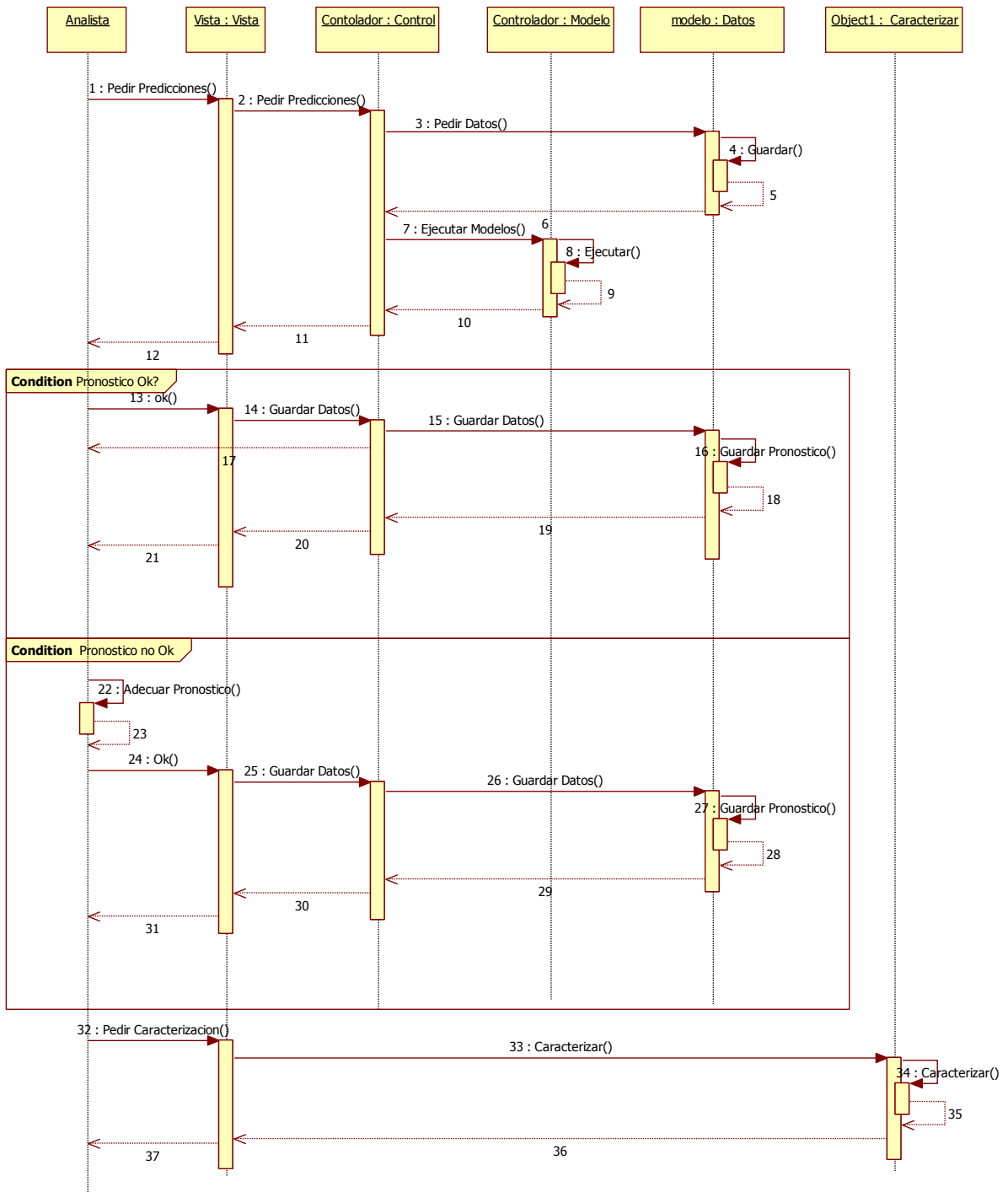
En la primera parte, para generar el pronóstico, el sistema hace una consulta pidiendo los datos que más tarde proveerá al sistema de predicción de demanda al sistema.

La segunda parte, es la encargada de ejecutar la lógica de negocios o la lógica que calculará el pronóstico adecuado para mostrar en pantalla.

La tercera etapa se ejecutará únicamente si llegasen a influir criterios médicos que hagan sospechar que el pronóstico no incluyó variables externas como las pandemias ya mencionadas. Este último paso da la posibilidad de cambiar el pronóstico antes de guardar el resultado final.

Por último, se mostrará la caracterización que se produce dado el resultado del pronóstico de demanda. Esta caracterización se desplegará en pantalla para que sea visto por el actor en la vista de salida, pero no se guardará ya que debe ser calculada cada vez que se visualice.

Lo anteriormente descrito se detalla en el siguiente diagrama de secuencia extendido:



**Ilustración 79: Diagrama extendido - Generación de Pronostico**

### 13.3.3. Modificar Capacidades

El diagrama de pistas de Modificar Capacidades puede ser representado a través de un diagrama de secuencia como el que se muestra en la Ilustración 79; en ella se presenta una única vista de ingreso de requerimientos y una de resultado de requerimientos. Una clase de Control, llamada Actualización, que es la encargada de la búsqueda de datos en el Modelo, que representa la Base de Datos, denominada Recursos.

Es importante resaltar que se escogió una única clase de Control para el diseño del diagrama de secuencia porque ambas tareas son sencillas.

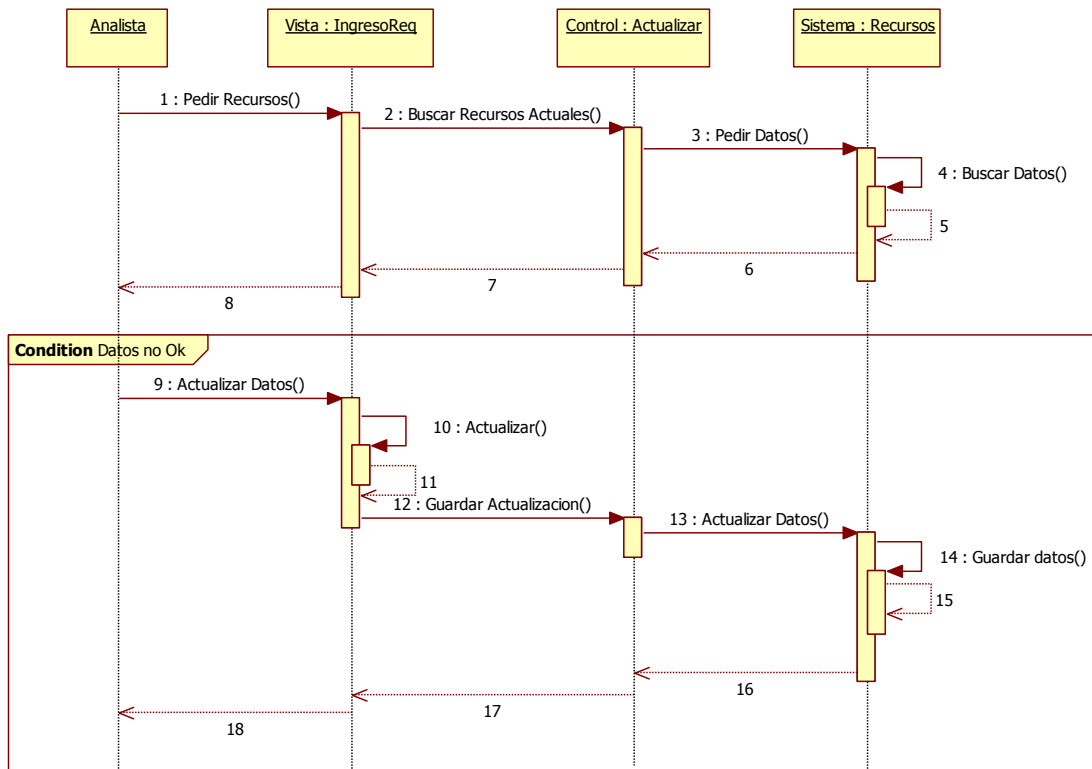
A continuación detallaremos brevemente la secuencia de interacción entre las clases, los parámetros que contienen y espera a recibir por cada método ejecutado.

En primer lugar, el Jefe de Urgencia solicita a través de la Vista de inicio los recursos que actualmente se encuentran en la base de datos. Por lo tanto se le envía un mensaje a la clase “Control: Actualización” pidiéndole que busque los Recursos en la Base de Datos. Es importante resaltar que la existencia de esta capa de Control, se debe a que se está utilizando la arquitectura MVC y por ende las Vistas no deberían interactuar directamente con la Base de Datos. En segundo lugar, el Control le solicita a la Base de Datos todos los recursos existentes y luego son desplegados en la Vista de salida.

Una vez desplegados todos los recursos existentes, el Jefe de Urgencias los analiza y determina si es necesaria alguna modificación para que existan los mismos recursos médicos que se encuentran en la sala de Urgencias. En caso de necesitar una actualización, se ejecuta la parte final del diagrama de secuencia, de lo contrario el diagrama de secuencia finaliza.



La secuencia opcional, corresponde únicamente a actualizar los recursos necesarios en la vista de ingreso; luego, estos nuevos valores son enviados a la capa de control que es la encargada de realizar la actualización en el Modelo.



**Ilustración 80: Diagrama extendido - Modificar Capacidades**

### 13.3.4. Análisis de Capacidades

Por último, tenemos el diagrama de secuencia extendido del Análisis de Capacidades. Al igual que en todos los diagramas anteriores, únicamente se empleo una clase vista, una para petición de requerimientos y para visualizar las respuestas. Dos clases de control que realizan las funciones de interacción entre las vistas y las dos clases modelo que existen.

La secuencia lógica de ejecución de este diagrama de pistas BPMN se puede dividir en tres etapas. La primera parte se encarga de la búsqueda del pronóstico en la base de datos, donde el Analista a través de la Vista inicial pide al

Controlador el pronóstico existente. Este último solicitará al Modelo la tabla con la demanda pronosticada y se la mostrará al Analista en una tabla en la Vista de salida.

La segunda parte, es la encargada de ejecutar la lógica de negocios propiamente dicha. En ella, el Analista seleccionará en la página inicial el mes que desea evaluar y luego irá al Controlador quien solicitará a la Base de Datos los recursos Actuales y enviará los datos la Clase de control “Análisis de Capacidades” encargada de llevar a cabo toda la lógica de programación y optimización de turnos, y el análisis de capacidades.

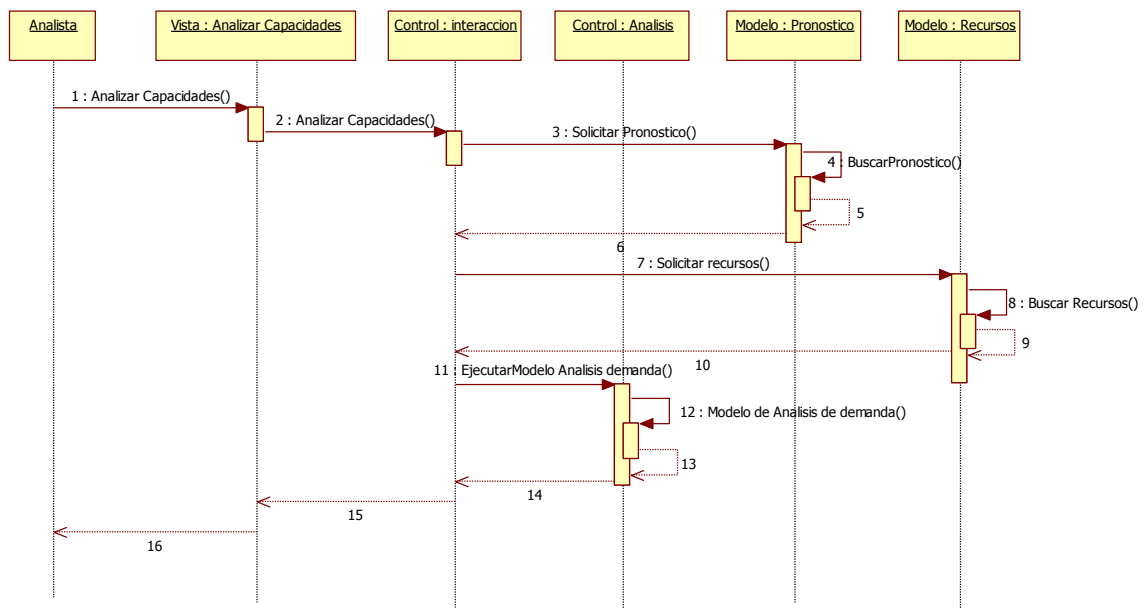


Ilustración 81: Diagrama de Secuencia Extendido - Análisis de capacidades

### 13.4. Diagrama de Clases

A continuación se explicará, con mayor detalle, las distintas clases existentes para cada uno de los diagramas de secuencia extendido explicados en el punto anterior.

### 13.4.1. Limpieza de Datos

El diagrama de clases referente a la Limpieza de Datos está conformado únicamente por cuatro clases.

- Vista: esta clase forma parte de la vista y corresponde a la interfaz en la cual el usuario ingresa sus requerimientos.
- Control: es la única clase de interacción y se encarga de la interacción entre la vista y el modelo ya que se encarga de buscar la demanda desde la base de datos operacional y guardar los datos en una base de datos local.
- Datos: esta clase es el Modelo; representa la base de datos con la información de la cantidad de pacientes atendidos por mes y por especialidad.
- Modelo: finalmente está la clase que representa los datos históricos que el hospital guarda en sus propios sistemas.

Por último, en la siguiente figura se muestran las relaciones existentes entre las distintas clases y donde se comprueba lo descrito; el analista interactúa con la clase Vista, la clase Control tiene relaciones con las vistas y con los Datos.

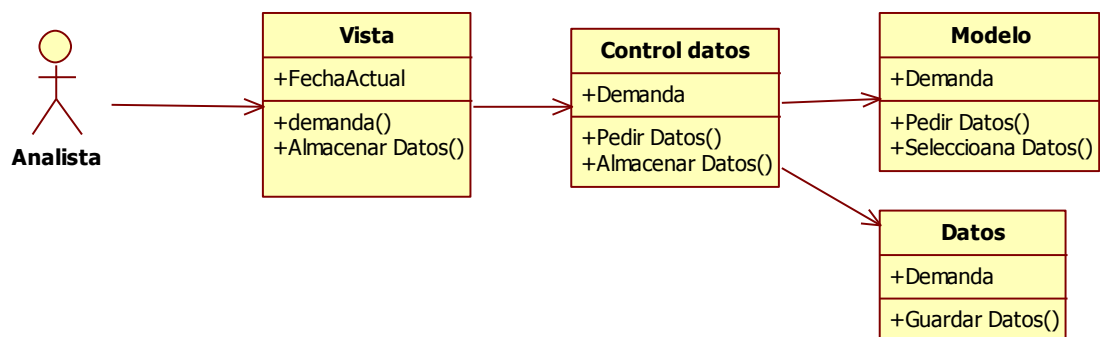


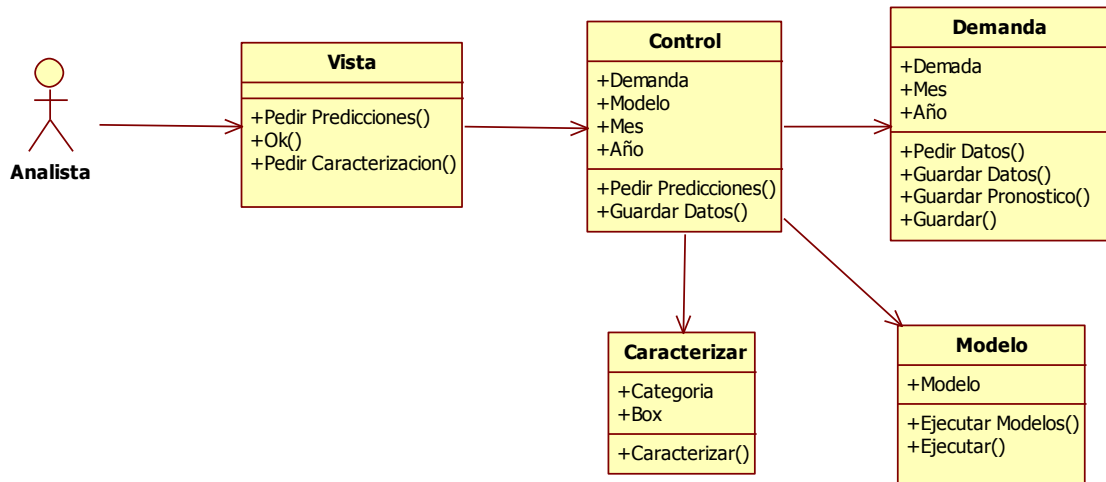
Ilustración 82: Diagrama de clases - Limpieza de datos

### 13.4.2. Generación de Pronóstico

El diagrama de clases referente a la Generación de Pronóstico está conformado por un actor, el analista y cinco clases:

- Vista: esta clase forma parte de la vista y corresponde a la interfaz en la cual el usuario ingresa sus requerimientos.
- Control: es la única clase de Control y se encarga de la interacción entre la vista y el modelo ya que se encarga de buscar los datos históricos, guardar el pronóstico y la interacción con el modelo de pronóstico.
- Demanda: esta clase es el Modelo; representa la base de datos con la información de la cantidad de pacientes atendidos por mes y por especialidades, ya filtrados y limpios. Además, es la encargada de guardar los datos del pronóstico de la demanda.
- Modelo: Luego está la clase que representa el modelo de pronóstico, que será guardado en el sistema. Es el encargado de ejecutar toda la lógica para ejecutar un pronóstico
- Caracterizar: Esta es otra clase de control. Posee la lógica para generar una caracterización adecuada.

Por último, en la siguiente figura se muestran las relaciones existentes entre las distintas clases. Donde se comprueba lo descrito, el Analista interactúa con la clase Vista, la clase control tiene relaciones con las vistas, con los Datos y la clase caracterizar.



**Ilustración 83: Diagrama de Clases - Generación de Pronostico**

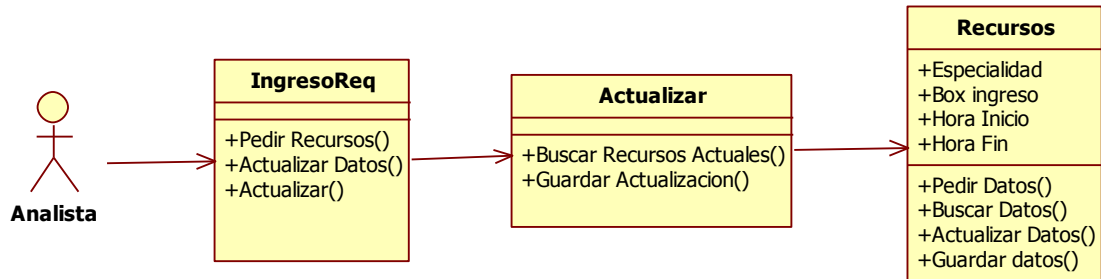
### 13.4.3. Modificar Recursos

El diagrama de clases referente a la Modificación de Recursos para el Análisis de Capacidades está conformado únicamente por tres clases.

- IngresoReq: esta clase forma parte de la vista y corresponde a la interfaz en la cual el usuario ingresa sus requerimientos.
- Actualizar: es la única clase de Control y se encarga de la interacción entre la vista y el modelo ya que se encarga de buscar y actualizar los recursos actuales.
- Recursos: esta última clase es el Modelo, representa la base de datos con la información de los recursos que actualmente existen en la sala de urgencias.

Por último, en la siguiente figura se muestran las relaciones existentes entre las distintas clases. Donde se comprueba lo descrito en este punto, que el analista sólo interactúa con la clase IngresoReq, la clase Actualización tiene relaciones con

las vistas y con Recursos y por último el Recurso únicamente tiene relación con la clase de control.



**Ilustración 84: Diagrama de clases - Modificar de capacidades**

#### 13.4.4. Análisis de Capacidades

El diagrama de clases referente al Análisis de Capacidades está conformado únicamente por cinco clases.

- IngresoReq: esta clase forma parte de la vista y corresponde a la interfaz en la cual el usuario ingresa sus requerimientos.
- Interacción: es la única clase de Control y se encarga de interactuar entre las Vistas, las distintas clases modelo.
- Pronóstico: es la clase Modelo que representa la conexión con la base de datos que posee los datos de los pronósticos obtenidos.
- Recursos: es la clase modelo que obtiene los datos de los recursos médicos actuales que se encuentran en la base de datos.
- Análisis: Recibe como parámetros de entrada los pronósticos, y los recursos actuales y ejecuta toda la lógica necesaria para calcular los recursos necesarios.

Por último, en la figura que se muestra a continuación aparecen las relaciones existentes entre las distintas clases. En ella se puede observar como el usuario únicamente interactúa con la clase de IngresoReq (Vista) y esta, a su vez, interactúa con la clase Interacción que funciona como el director para buscar los datos en las distintas clases Modelo (Pronóstico y Recursos); finalmente, tenemos la interacción entre el controlador y el análisis de demanda.

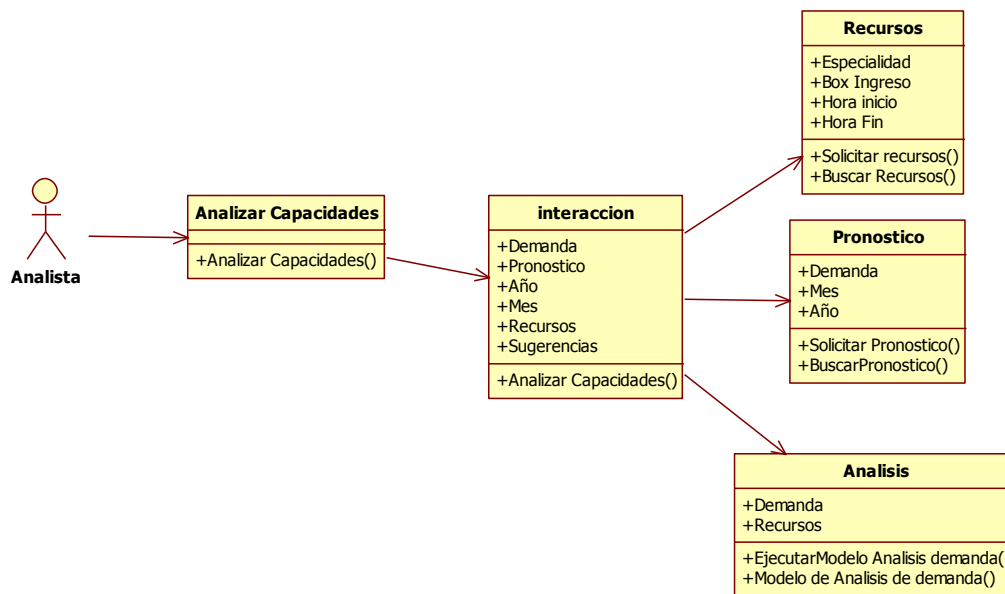


Ilustración 85: Diagrama de clases - Análisis de Capacidades

### 13.5. Diagrama de Paquetes

Los diagramas de clases anteriormente presentados se pueden agrupar en 3 paquetes:

- Datos
  - Demanda
  - Recursos
- Pronóstico
- Análisis de Capacidades

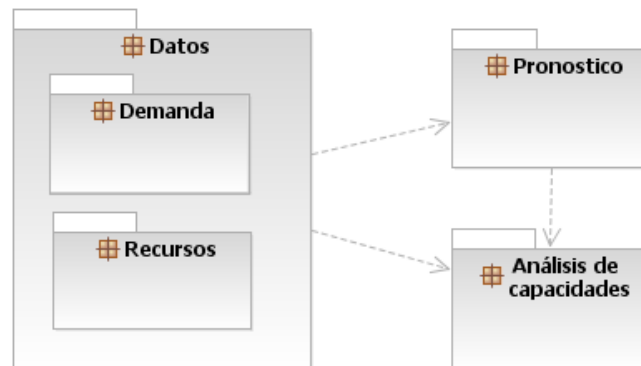
El paquete de Datos encapsula todo lo referente a los datos necesarios referente a los pronósticos. Este paquete se subdivide en dos, uno referente a los datos de la demanda (incluyendo pronósticos futuros) y por otra parte los datos de los recursos.

El paquete Datos es un paso previo y utilizado por el Paquete de Pronóstico y tienen una interacción directa. El Paquete de Pronóstico encapsula todo lo referente a estas actividades, desde seleccionar los datos necesarios para producir un pronóstico hasta la entrega del pronóstico.

Luego este paquete interactúa con el análisis de capacidades que le proporciona el pronóstico de demanda.

Por último está el paquete de análisis de capacidades que incluye el modelo de programación lineal

Las interacciones anteriormente descritas se representan gráficamente en el siguiente diagrama clases para conseguir el objetivo que es el análisis de capacidades.



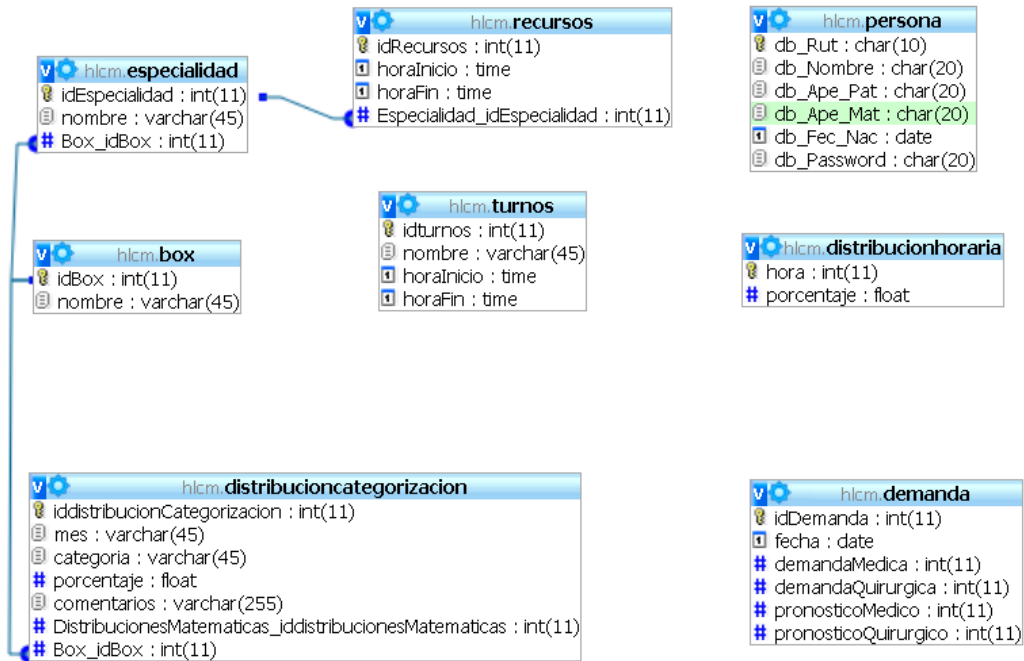
**Ilustración 86: Diagrama de paquetes**



## 13.6. Diagrama de datos

Finalmente se describirá el modelo entidad relación correspondiente a los datos que utilizará el sistema para funcionar.

- **Personas:** Todos los campos relevantes de las personas (analistas) que utilizarán es sistema, incluida su contraseña de forma encriptada.
- **Demanda:** Corresponde a una tabla con las fechas y la demanda y pronóstico en cada fecha.
- **Recursos:** Se refiere a los médicos que atiende y el horario en que atienden. Estos médicos tienen una especialidad
- **Especialidad:** cuál es la especialidad que atiende un médico particular.
- **Box:** Hay una relación directa entre la especialidad de un médico y el box en el cual atiende.
- **Turnos:** Aquí van los turnos que pueden cumplir los médicos, en general se supone que estos turnos son fijos.
- **Categorización:** Para hacer una segmentación según categorización, estos datos son guardados en la base de datos. Esta distribución depende del box a utilizar.



**Ilustración 87: Modelo Entidad Relación - Modelo de datos**

## **14. Construcción del Piloto**

### **14.1. Desarrollo de la Aplicación Piloto**

Para el desarrollo de la aplicación fue necesaria la colaboración inicial del personal del HLCM para poder conocer los datos históricos de la sala de urgencia. Además este desarrollo constituye un nuevo proceso dentro de la sala de urgencia donde se puede pronosticar la cantidad de pacientes a atender con el fin de planificar de mejor manera la capacidad.

### **14.2. Construcción del Prototipo para Pronóstico de demanda**

El desarrollo del prototipo funcional consistirá en los módulos de limpieza de datos y pronóstico de demanda.

El análisis de capacidades permitirá revisar las capacidades requeridas y disponibles para poder atender a la demanda. Es importante destacar que los pronósticos de demanda alimentan a cálculos de análisis de capacidades que fueron desarrollados en conjunto en esta misma aplicación en la tesis de Eduardo Ferro (Ferro, 2010)

### **14.3. Programación del Prototipo**

El desarrollo de la aplicación fue llevado a cabo utilizando tecnología Java Enterprise Edition y con la ayuda del framework SRUTS para mantener un modelo de tres capas (modelo, Vista, Controlador). Para más detalle de la tecnología JAVA EE, puede verse el Anexo VI.

Como servidor de aplicaciones fue seleccionado Apache Tomcat y el servidor de base de datos usado fue MySQL.

Estas decisiones fueron tomadas en base a la robustez que ofrecen estas soluciones además de ser todo una tecnología abierta y sin costos de licencia (Open Source)

Por otra parte, los módulos de predicción de demanda fueron también programados en Java pero usando las librerías de RapidMiner como motor de Business Intelligence.

Las lógicas de negocio detrás de este piloto fueron definidas previamente en el capítulo 12.

Por último la ubicación de la aplicación piloto puede ser accedida por cualquier navegador de internet en la dirección: <http://146.83.5.23/Calvo>.

#### **14.4. Pantallas del Prototipo**

En este punto se busca mostrar las pantallas de los módulos implementados en el piloto funcional que corresponden a la limpieza de datos y al Pronóstico de demanda. Cabe mencionar que se realizaron los diseños de todas las lógicas de negocio propuestas en este trabajo, pero la implementación será solamente del modulo de predicción de demanda.

##### **14.4.1. Pantalla de Inicio de Sesión**

Esta primera pantalla permite únicamente iniciar sesión según el usuario, tomando como identificador el RUT.



**Ilustración 88: Página de inicio de sesión**

#### **14.4.2. Pantalla de Inicio**

Esta pantalla muestra los 5 módulos desarrollados en el piloto que corresponden a: limpiar los datos del pronóstico, calcular nuevos pronósticos, ver pronósticos, análisis de capacidades y modificar capacidades. Como se ha mencionado, estas dos últimas son explicadas en detalle en las tesis de Eduardo Ferro. En este trabajo sólo se explicarán los 3 primeros módulos.



[Limpiar Datos](#)

[Calcular Nuevos Pronosticos](#)

[Ver Pronósticos](#)

[Análisis de Capacidades](#)

[Modificar Capacidades](#)

#### **Ilustración 89: Página de Inicio**

Como se observa en la Ilustración 89, las diversas opciones para el usuario son presentadas a través de hipervínculos.
















### **14.4.3. Módulo de Predicción de Demanda**

A continuación se mostrarán las pantallas que conforman el módulo de predicción de demanda.

#### **14.4.3.1. Limpiar Datos**

Tal como se detalló en los diagramas de pistas, el primer paso para un análisis exitoso de la demanda es importar los datos necesarios para la predicción y limpiar los valores fuera de rango. En particular como valores fuera de rango pueden ser consideradas las pandemias fuera de comportamiento habitual de la demanda.

## Datos Demanda

EDITAR	MES	DEMANDA MEDICA	DEMANDA QUIRURGICA
	Agosto 2010	6467	2136
	Julio 2010	4444	1353
	Junio 2010	5137	2213
	Mayo 2010	5032	2252
	Abril 2010	5029	2401
	Marzo 2010	3854	1881
	Febrero 2010	2729	1065
	Enero 2010	3895	1305
	Diciembre 2009	4718	1598
	Noviembre 2009	5100	2299
	Octubre 2009	5137	2406
	Septiembre 2009	4244	2034
	Agosto 2009	4225	2315
	Julio 2009	3838	1233
	Junio 2009	7627	1638

80 items encontrados, mostrando del 1 al 15.  
[Primero/Previo] 1, 2, 3, 4, 5, 6 [Próximo/Último]

Exportar a: [CSV](#) | [Excel](#)

[Volver](#)

### Ilustración 90: Ver Datos de la demanda histórica.

Como se dijo anteriormente, en el caso que se quiera modificar uno de los valores anormales, se puede hacer presionando la columna de la izquierda. Esto hace que se abra una pantalla como la mostrada en la

Ilustración 91

## Editar Demanda

Fecha	Junio 2009
Demanda Médica	7627
Demanda Quirúrgica	1638

[Volver](#)

### Ilustración 91: Modificar Demanda Histórica

En esta pantalla se puede ver el mes que se modifica y los valores actuales para ambos box de atención. En el caso de haber hecho una modificación a los valores, pero se quiera volver a los valores originales, se puede apretar el botón “por Defecto” restaurando los valores de atenciones reales.

#### 14.4.3.2. Cálculo de nuevos Pronósticos

Una vez los datos limpios, se pasa al cálculo de nuevos pronósticos. En esta pantalla se hace el llamado a toda la lógica de predicción de demanda implementada a través de las librerías de Rapid Miner; sin embargo, esto es transparente para el usuario. En la Ilustración 92 se muestra una tabla con pronósticos hasta con 1 año en el futuro para ambos boxes así como la información de los pronósticos hechos en el pasado.



## Nuevos Pronosticos

EDITAR	MES	PRONOSTICO MEDICA	PRONOSTICO QUIRURGICO
	Julio 2011	4605	1231
	Junio 2011	4708	1989
	Mayo 2011	5955	2336
	Abril 2011	4681	2395
	Marzo 2011	4220	2290
	Febrero 2011	3294	1323
	Enero 2011	4157	1416
	Diciembre 2010	4661	1535
	Noviembre 2010	5488	2484
	Octubre 2010	4691	2310
	Septiembre 2010	4657	2288
	Agosto 2010	4585	2226
	Julio 2010	4387	1386
	Junio 2010	5530	2201
	Mayo 2010	5099	2081

91 items encontrados, mostrando del 1 al 15.  
[Primero/Previo] 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 [ Próximo/ Último]

Exportar a: CSV  | Excel 

[Volver](#)

### Ilustración 92: Cálculo de nuevos pronósticos

#### 14.4.3.3. Desempeño pronóstico

Por ultimo el sistema permite ver los desempeños históricos de los pronósticos comparandolos con los valores reales de la demanda.

Es este caso se generan dos pantallas: uno para el box de medicina (pediatría) y otro para el box Quirúrgico (traumatología)

## Datos Demanda

### Demanda Medica

MES	DEMANDA MEDICA	PRONOSTICO MEDICA	ERROR
Septiembre 2010	5130	4657	-9,2 %
Agosto 2010	6467	4585	-29,1 %
Julio 2010	4444	4387	-1,3 %
Junio 2010	5137	5530	7,7 %
Mayo 2010	5032	5099	1,3 %
Abril 2010	5029	4914	-2,3 %
Marzo 2010	3854	3998	3,7 %
Febrero 2010	2729	2945	7,9 %
Enero 2010	3895	4302	10,4 %
Diciembre 2009	4718	5328	12,9 %
Noviembre 2009	5100	5593	9,7 %
Octubre 2009	5137	4982	-3 %
Septiembre 2009	4244	4454	4,9 %
Agosto 2009	4225	4161	-1,5 %
Julio 2009	3838	4775	24,4 %

81 items encontrados, mostrando del 1 al 15.  
[Primero/Previo] 1, 2, 3, 4, 5, 6 [Próximo/Último]

Exportar a: [CSV](#) | [Excel](#)

### Ilustración 93: Ver Desempeño box Medicina

#### Demanda Quirurgica

MES	DEMANDA QUIRURGICA	PRONOSTICO QUIRURGICA	ERROR
Septiembre 2010	1786	2288	28,1 %
Agosto 2010	2136	2226	4,2 %
Julio 2010	1353	1386	2,4 %
Junio 2010	2213	2201	-0,5 %
Mayo 2010	2252	2081	-7,6 %
Abril 2010	2401	2451	2,1 %
Marzo 2010	1881	2279	21,2 %
Febrero 2010	1065	1167	9,6 %
Enero 2010	1305	1416	8,5 %
Diciembre 2009	1598	1769	10,7 %
Noviembre 2009	2299	2434	5,9 %
Octubre 2009	2406	2510	4,3 %
Septiembre 2009	2034	1946	-4,3 %
Agosto 2009	2315	2152	-7 %
Julio 2009	1233	1530	24,1 %

81 items encontrados, mostrando del 1 al 15.  
[Primero/Previo] 1, 2, 3, 4, 5, 6 [Próximo/Último]

Exportar a: [CSV](#) | [Excel](#)

[Volver](#)

### Ilustración 94: Desempeño Box Quirúrgico

## **15. Gestión del Cambio**

### **15.1. Contexto Organizacional**

El Hospital Luis Calvo Mackenna es un centro hospitalario pediátrico de alta complejidad y auto-gestionado, perteneciente al Servicio de Salud Metropolitano Oriente. Es líder en cirugías complejas llegando a ser un centro de referencia nacional. Además, este Hospital funciona como un centro docente asistencial pediátrico público, en conjunto con la Universidad de Chile.

El proyecto fue llevado a cabo en un año bastante convulsionado debido a dos hechos de suma importancia. El primero, la Influenza A H1N1 lo cual colapsó el servicio de urgencia e incluso el sistema de salud nacional público y privado, debido a la alta demanda generada y por el temor a esta enfermedad altamente contagiosa. El segundo hecho crítico que afectó el proyecto es la elección presidencial y todos los cambios que conlleva un cambio de gobierno. Estas fueron las razones por las cuales se trabajó con celeridad en la muestra de resultados y así poder exponer los resultados y conclusiones alcanzadas.

Por otro lado, es importante recalcar que el proyecto tiene un impacto a nivel táctico y estratégico a través de un rediseño de procesos lo que generalmente representa un gran desafío en la gestión del cambio ya que la perspectiva de los médicos resulta, en ocasiones diferente al enfoque propuesto por la ingeniería.

### **15.2. Desafíos para la Gestión del Cambio**

Dentro de los mayores desafíos para la gestión del cambio se encuentra de, forma general, el poder transmitir las mejoras que se pueden obtener con la implementación de un proyecto específico. No obstante, cada uno de los actores relevantes del proyecto representa un desafío por sí sólo.

1. Lograr apoyo de la Dirección del hospital, comprometiéndolos con la asignación de recursos de apoyo para la elaboración del proyecto.

2. Seducir al jefe de Urgencia, que es el encargado de gestionar la sala de urgencia para que apoye el proyecto y logre involucrar a los médicos que laboran en urgencias y ayuden en la recaudación de datos.
3. Seducir a las coordinaciones y departamentos de gestión del hospital para que apoyen en el diseño y la comunicación del proyecto a sus pares.
4. Formar una buena coalición conductora que tenga autoridad y sea respetada en el hospital para que pueda comunicar el sentido del proyecto y permita cumplir los objetivos anteriores.

### **15.3. Estrategia para Gestión de Cambio**

#### **15.3.1. Sentido de Urgencia**

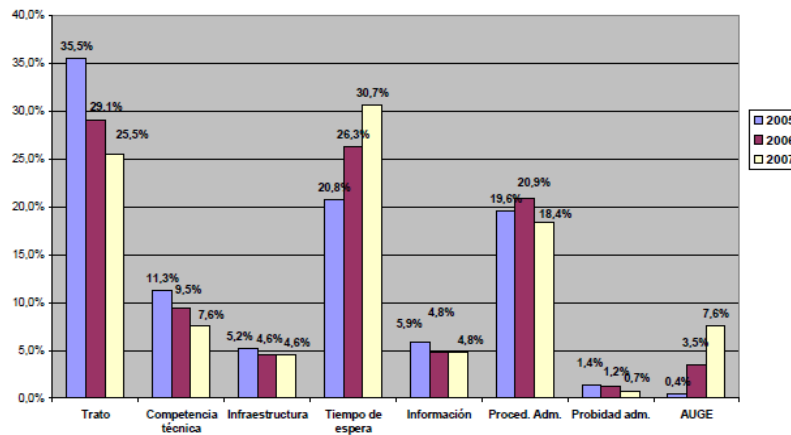
La opinión pública en general tiene una mala percepción de los servicios de urgencia. En particular una noticia relevante que salió publicada en el diario “La Nación”:

**NUEVA MUERTE APUNTA A URGENCIA DEL HOSPITAL DEL SALVADOR**

A dos días del deceso de una mujer, anoche falleció un anciano que esperaba atención. “La gente en general en Chile se muere en los hospitales”, dijo jefe de la unidad.  
Diario La Nación, Jueves 10 de junio de 2010

**Ilustración 95: Noticia relevante sobre atención en urgencia**

La oferta de servicios en hospitales públicos se ve sobrepasada con fuertemente por la creciente demanda. Haciendo un análisis de los reclamos en los servicios de urgencia en particular el SSMO, los informes resultantes muestran que la atención en los servicios de urgencia posee una evaluación negativa debido al excesivo tiempo de espera.



Fuente: Dpto. de Satisfacción Usuaría y Participación Social, DSSMO

### Ilustración 96: Clasificación de Reclamos en el SSMO (Departamento de Planificación y Desarrollo de la Red Asistencial, PLADE, 2008)

Si sumamos el excesivo tiempo de espera con la angustia de estar enfermo, estas razones se convierten en detonantes de problemas como lo son: la ansiedad y la violencia con el personal del hospital, entre otros. Por otro lado, el excesivo tiempo de espera se traduce en otro problema comentado por los usuarios que corresponde a que los médicos no se toman el tiempo necesario para atender a sus pacientes; esta rapidez en atención es una consecuencia de la mala percepción del trato a los pacientes.

Es por esto que es de suma importancia un proyecto que mejore la gestión en urgencia.

#### 15.3.2. Gestión del Poder

Para el proyecto hay cinco actores sumamente relevantes, cada uno con un poder diferente sobre el proyecto. Para cada uno de ellos se debe seducir con una narrativa diferente que los convenza de la utilidad del proyecto y así den su apoyo para éste.

Actor	Relación Con el Proyecto	Poder
<p>Jefe de Urgencia (Dr. Caamaño)</p>	<p>Es el Jefe del área donde el proyecto se llevará a cabo el proyecto; por lo tanto, es relevante para hacer funcionar el proyecto.</p> <p>La promesa que se les hizo es que mejorará la calidad de atención sin modificar lo que ya se tiene hasta el momento (turnos, horarios de trabajo, etc.).</p> <p>Esto permitirá una mejora en la atención de los pacientes sin sacrificar ni cambiar los turnos de los médicos que actualmente trabajan ya que estos son de excelencia.</p>	<p>Alto</p>
<p>Jefa Estudio Pre-Inversión Hospitalaria (Ximena Calvo)</p>	<p>Fue una de las personas que ayudó a comenzar el proyecto;, su apoyo fue fundamental dentro del hospital, para conseguir datos para realizar el proyecto. Sin embargo, su poder dentro de la urgencia no es muy grande.</p>	<p>Bajo</p>
<p>Coordinadora de Planificación Campaña de Invierno (Luz Angélica Skoknic)</p>	<p>Ella es una de las personas que respaldó el proyecto y le dio continuidad este se estanco.</p>	<p>Medio</p>
<p>Jefe Dpto. de Atención Ambulatoria (Gabriela Brigardello)</p>	<p>Su relación con el proyecto es que es la persona que utilizará el prototipo. Ella tiene a cargo la planificación de urgencia.</p>	<p>Medio</p>
<p>Director de Hospital (Dr. Artaza)</p>	<p>Fue uno de los auspiciadores del proyecto, por lo que su relación con el proyecto fue de apoyo absoluto.</p>	<p>Muy Alto</p>

**Tabla 41: Mapa de poder**

### 15.3.3. Definición de Coalición Conductora

De acuerdo a la distribución del poder entre los distintos actores involucrados directa o indirectamente con el proyecto, se decide cuál debería ser la coalición conductora, para lograr un proceso de cambio exitoso. El líder que surge de forma natural es el Jefe de Urgencia, pues otorga el poder jerárquico necesario para influir en la organización y en particular en el servicio de urgencia, en el sentido de la innovación.

Adicionalmente, la planificadora de la campaña de invierno es quien debería estar proponiendo los cambios relevantes y utilizando la herramienta de gestión.

Por otro lado, la jefa de departamento es quien constantemente está proponiendo cambio para la mejora de atención.

Para que todo esto sea posible, los gestores del proyecto deben realizar un diseño adecuado para el hospital y brindar soporte técnico constante y apoyar al resto del equipo en sus funciones ya mencionadas. El cuadro muestra los miembros de la coalición conductora:

<b>Nombre</b>	<b>Cargo</b>
Eduardo Caamaño	Jefe de Urgencia
Luz Angélica Skoknic	Coordinadora de Planificación Campaña de Invierno
Dra. Gabriella Brignardello	Jefe Dpto. de Atención Ambulatoria
Eduardo Ferro	Gestor Proyecto
Carlos Reveco	Gestor Proyecto

**Tabla 42: Coalición Conductora**

Adicionalmente, al equipo conductor debe tener el respaldo de la dirección y en particular del director del hospital, ya que sin su apoyo el proyecto estará destinado al fracaso.

#### 15.3.4. Gestión de Narrativas

La generación de narrativas, para los distintos actores de la organización, puede hacer la diferencia entre lograr implementar exitosamente un proyecto o no. Éstas deben depender del perfil y cargo de la persona que escucha y del rol que se espera que cumpla en el proyecto. Por ello, se generaron narrativas distintas para los actores involucrados directa e indirectamente con el proyecto con el fin de seducirlos de acuerdo a sus expectativas:

Actor	Narrativa
Jefe de Urgencia (Dr. Caamaño)	Mejorar la calidad de atención sin modificar lo que ya se tiene hasta el momento (turnos, horarios de trabajo, etc.). Esto permitirá una mejora en la atención de los pacientes sin sacrificar ni cambiar los turnos de los médicos que actualmente trabajan ya que estos son de excelencia.
Director de Hospital (Dr. Artaza)	El proyecto apoyará al hospital para anticiparse a cambios de demanda, ayudando a tener una mejor atención al paciente en conjunto con reducir gastos al mejorar el uso de los recursos disponibles.
Jefa EPH (Ximena Calvo)	Incorporar medidas de modificación de la demanda y oferta en urgencia para mejorar la calidad de atención de los pacientes. Esto permitirá que los pacientes tengan una calidad igual de atención pero en un menor tiempo disponible.



<p>Coordinadora de Planificación Campaña de Invierno (Luz Angélica Skoknic)</p>	<p>En el turno del día es necesario incluir un 4 médico de atención para aminorar la sobre carga de trabajo de los otros doctores. Pero sin duda que hay mala distribución de los médicos durante todo el día, sobre todo en la noche que hay una sobreoferta de médicos. Sin embargo esto deberá ir cambiando paulatinamente y en base a la evidencia que puede entregar el proyecto.</p>
---	--

**Tabla 43: Tabla de narrativas formuladas**

### **15.3.5. Observando lo que se conserva**

En el proyecto hospitales hay algunos aspectos que queremos mantener a toda costa: la excelencia en la atención y el prestigio que tiene la Sala de Urgencias de Calvo Mackenna. El proceso de cambio en el Hospital debe tratar de mejorar los tiempos de espera de los pacientes pero sin empeorar la calidad y el nivel del servicio que actualmente brinda el hospital. En particular, hubo un mal entendido en cuanto al proyecto ya que se pensó que se querían quitar médicos durante la noche, lo que produciría una disminución en la calidad de atención, por lo que hubo un fuerte rechazo al proyecto. Lo importante de un proceso de cambio no es lo que se cambia si no lo que se conserva. Es por esto que se ideó una estrategia en que manteniendo la calidad de servicio actual se pudieran mejorar la atención en base a un policlínico de atención además de lo que ya está. En un momento se pensó que quitaríamos recursos para reformular toda la sala de urgencias; esto sin duda transgredía con lo fundamental que es la calidad de la atención.

Claramente transgredir lo que se desea conservar puede ser fatal y no sólo para el proyecto debido a que se pierde parte de la identidad de la organización; incluso puede destruir a la organización como tal, porque raya con la cultura organizacional actual. Es por esto que se debe tener muy en cuenta lo que se desea cambiar y si eso entra en conflicto con lo intransable por parte de la organización.

### **15.3.6. Estrategia Comunicacional**

Para que una estrategia comunicacional tradicional sea exitosa, los pasos relevantes que se deben seguir son:

1. Determinar qué queremos conseguir; cuáles son los objetivos
2. Decidir a quién vamos a dirigir la comunicación
3. Pensar cuál es la idea que queremos transmitir
4. Fijar el presupuesto con el que se cuenta (cuánto).
5. Seleccionar los medios apropiados y su frecuencia de utilización
6. Ejecutar el plan de medios y medir su impacto

En particular, para el hospital se adaptó este plan comunicacional tradicional a uno más acorde con las necesidades del proyecto, lo que se traduce en lo siguiente:

1. Dar a conocer el proyecto a diversos niveles del hospital y demostrar su efectividad como herramienta de apoyo para darle un sentido de urgencia.
2. La comunicación debería ser a varias partes; médicos, Jefe de Urgencia y dirección
3. Transmitir la utilidad del proyecto y su impacto en la mejora de atención para los pacientes.
4. “El presupuesto” es el recurso humano que podemos usar para convencer a la gente de esto.
5. Los medios apropiados son a través de reuniones para seducir y encantar con los objetivos del proyecto.
6. La ejecución de los pasos anteriores es fundamental.

En cuanto al impacto, se puede apreciar que ya se están viendo los frutos de esta estrategia comunicacional ya que los médicos han dado un sentido de urgencia al proyecto

### **15.3.7. Evaluación y Cierre del Proceso de Cambio**

Es importante que el proyecto cuente con un adecuado cierre de proceso y una constante evaluación del mismo para comprobar su éxito. Para la evaluación del proceso de cambio, se deben mostrar los aspectos que deben ser considerados antes de dar el proceso por cerrado.

En pos de lograr que el proceso de predicción de demanda que se esté utilizando, efectivamente esté en la línea de lo que propone este proyecto, debe ocurrir que:

1. Se haya creado la conciencia organizacional, sobre todo a nivel de jefatura de urgencia, de la importancia de pronosticar la demanda de pacientes para mejorar la calidad de atención. Esto significa actuar proactivamente en caso en que el pronóstico prevea un aumento o disminución significativa de la demanda.
2. El Jefe de Urgencia, o la persona designada, revise periódicamente los indicadores de uso de la herramienta computacional. Para la evaluación constante, se propone una herramienta o panel de control de las acciones realizadas mostrada en la Tabla 44. En ella se debe registrar mensualmente si se usó o no cada uno de los diferentes módulos del proyecto: Predicción de demanda, Gestión de Capacidades, Acciones Utilizadas. Lo ideal es que sea escalonado con tres fases, partiendo en los primeros meses sólo con la predicción de demanda, luego en los siguientes meses con la predicción y la gestión de capacidad, terminado con un proyecto exitoso que regularmente (una vez al mes) se realicen acciones en base a los pronósticos.

Mes \ Acción	Predicción de demanda	Gestión de Capacidades	Acciones utilizadas	Uso total
Enero				
Febrero				
Marzo				
Abril				
Mayo				
Junio				
Julio				
Agosto				
Septiembre				
Octubre				
Noviembre				
Diciembre				

**Tabla 44: Panel de control de utilización del proyecto**

3. Se tomen medidas para el mejoramiento continuo de la atención en urgencia y de los turnos médicos, a partir del análisis del punto anterior. Esto implica, entre otras cosas, influir activamente sobre la oferta horaria propuesta, como turnos médicos o en la demanda, haciendo campañas para que venga más o menos gente a la sala de urgencia.

En otras palabras, el proceso de cambio recién descrito podrá darse por cerrado cuando se demuestre que el nuevo proceso de predicción de demanda, mejora el desempeño y el funcionamiento de la sala de urgencia.

## **16. Resultados de la implementación**

El proyecto de pronóstico y análisis de demanda de la sala de urgencia en el Hospital Dr. Luis Calvo Mackenna fue implementado de acuerdo a lo planteado en la gestión del cambio y a lo decidido por la coalición conductora del proceso de cambio en la sala de urgencia, tanto en el box de pediatría como en el de traumatología.

Sin embargo, fue en la especialidad de *pediatría* donde fueron vistos los primeros cambios organizacionales y el consiguiente éxito de la implementación, debido al apoyo de la Dra. Brignardello y a la encargada de la campaña de invierno, Luz Angélica Skoknic.

Por otro lado, hubo una buena disposición por parte de los médicos a cargo del policlínico docente, quienes fueron los primeros en prestar ayuda para mejorar la atención en la sala de urgencia.

A continuación se muestran los pasos para el éxito del proceso de pronóstico y análisis de demanda en urgencia registrados durante el año 2010.

### **16.1. Experiencia en la implementación**

En un comienzo la conducción del proceso de cambio no fue llevado de la mejor manera, por lo que varios médicos comenzaron a mostrar sus reparos en la implementación, ya que pensaron que el fin último era eliminar turnos o aumentar las horas de trabajo. Poco a poco se fue entendiendo que el objetivo final del proyecto no era que los médicos trabajaran más de la cuenta o que se reducirían turnos. Finalmente se dieron cuenta que lo que buscaba este proyecto es adaptarse a las necesidades de los pacientes lo que se debería traducir en un aumento de turnos o recursos durante los periodos más críticos del año.

Así fue tomando fuerza la idea de utilizar la herramienta en el periodo más crítico del 2010, ideando una estrategia para enfrentar la campaña de invierno. Así se generó un nuevo apoyo con nuevas conductoras del proyecto, la Dra.

Brignardello y Luz Angélica Skoknic, encargadas de la planificación de la campaña de invierno 2010

## **16.2. Campaña de invierno 2010**

Durante el año 2010, el proceso de pronóstico y la aplicación para el apoyo computacional ya estaba listo para ser utilizados. En conjunto con la Dra. Brignardello y la encargada de la campaña de invierno, Luz Angélica Skoknic, se decidió incorporar el servicio de urgencia un Policlínico de atención rápida para la atención de pacientes C4 con el cual disminuyó el exceso de pacientes en espera y sobre todo el tiempo de espera para ser atendidos. Este cambio fue sumamente relevante ya que demostró que con una mejor asignación de médicos en las horas críticas, se obtiene una mejor atención y más acorde a las necesidades de los pacientes.

Otro cambio relevante fue el tema de llegar a un consenso en los tiempos de atención para los pacientes; esto demostraba que se gastaba muchísimo tiempo en un proceso no directamente ligado a la urgencia como lo son los controles, la hospitalización y la derivación de pacientes.

## **16.3. Ideas de cambio a mediano plazo**

El sistema dejó en evidencia que puede haber una mejor asignación de los médicos con el fin de adaptarse a las necesidades de los pacientes. En particular, se evidenció la sobreoferta de recursos en el turno de la noche y la sobredemanda de recursos en el día, por lo que el hospital se planteó a mediano plazo modificar sus políticas de asignación de recursos y también en definir un nuevo sistema de turnos más adecuado a la demanda.

Por otra parte, se llegó a un consenso con los diferentes médicos de urgencia acerca de estandarizar los criterios de caracterización de pacientes para evitar diferencias de trato y ayudar a mejorar la gestión de demanda.

Con el consenso de los tiempos de atención se evidenció que hay mucho tiempo que se ocupa en el tema de hospitalización, entre las rondas y en derivaciones. A un mediano plazo, se planteó reducir la cantidad de camas en urgencias, con lo que se pretende eliminar o reducir al mínimo el tiempo en actividades no directamente ligadas a la atención de urgencia.

#### **16.4. Conclusión**

Hoy en día, la implementación de este proyecto permite probar y demostrar que los hospitales públicos sí pueden cambiar su cultura en la gestión de pacientes que esperan por atención en urgencia. Estos pueden cambiar la forma en que hacen las cosas para hacerlo de una mejor manera, pero eso sólo será posible si hay personas involucradas comprometidas, seducidas por brindar una atención oportuna y si se logra tener médicos y enfermeras como aliados estratégicos del cambio que con voluntad, paciencia, persistencia, confianza y valor enfrentan los obstáculos y saber tomar de ellos ideas para rediseñar y ejecutar exitosamente la estrategia del cambio.

Además, se demostró que un buen trabajo de ingeniería y de gestión en el hospital, ayuda a mejorar la atención y, a su vez, permite que nuevos proyectos se lleven a cabo dentro del mismo establecimiento.

## 17. Análisis Económico

Este Capítulo desarrollará todos los beneficios económicos para el hospital, por el efecto de ahorro de costos que producirá el proyecto.

Cabe destacar que el proyecto ya fue desarrollado de manera piloto y lo que aquí se evaluará será una implementación definitiva, su funcionamiento rutinario, y el costo de mantener estos modelos en el tiempo. La evaluación económica del proyecto realizado incluyendo los costos hundidos se encuentra en el anexo VII.

### 17.1. Medición de Beneficios

El proyecto desarrollado se enmarca dentro de lo que se denomina como *Proyecto Social*, por lo que para su evaluación económica se deben tener en consideración las recomendaciones del Ministerio de Planificación (MIDEPLAN).

Particularmente para el área de la salud se puede encontrar un documento en la página web del MIDEPLAN llamado *“Beneficios según Mideplan: metodología de preparación, evaluación y priorización de proyectos atención primaria del sector salud”* (MIDEPLAN, 2007), en el cual se detallan varios puntos relevante para una evaluación social en la atención primaria.

Dado que se realizará una evaluación social, es importante determinar el costo del tiempo de espera dentro del centro de salud, ya que ello permite determinar los beneficios reales percibidos por parte del proyecto, es decir los ingresos producto de la disminución en el tiempo de espera. En la tabla que se presenta a continuación se encuentra el valor de la hora utilizado por MIDEPLAN.

El valor de la Hora Social se calcula al valor de una hora de trabajo al valor de sueldo mínimo. En Chile se consideran 180 horas laborables por mes, que considera una jornada de 44 horas a la semana.



Si bien para el año 2007, el valor recomendado por el documento es de \$750 por hora, los reajustes hacen que el sueldo mínimo esté cercano a los \$180.000, por lo que un valor más real de la hora de trabajo actualizado al año 2010 es de \$1.000 por hora.

Por lo tanto, cada hora que el proyecto disminuya en tiempo de espera para un paciente equivale a una hora de trabajo evaluada en \$1.000.

También existen otros ingresos producto de un aumento en el número de pacientes debido a una mejora en la atención. Este punto será evaluado en la simulación del comportamiento del flujo de caja ya que se tomará como índice el porcentaje de pacientes que se van sin ser atendidos o LWBS, por sus siglas en inglés (*LWBS - leave without being seen*).

Asimismo, es importante recalcar que debido a que este es un servicio de urgencia, todos los pacientes que llegan siempre son atendidos, con y sin proyecto, por lo que lo único que variará el proyecto es el tiempo de espera promedio de cada paciente.

## **17.2. Medición de Costos**

Para realizar el análisis económico, hubo que determinar los costos en los que se incurren en la implementación del proyecto en el Hospital Luis Calvo Mackenna. Dado que éste busca optimizar la situación actual, el estudio económico toma en consideración los costos oportunidad del personal del hospital para lograr incorporar esta herramienta en su rutina diaria, es decir, la gestión del cambio y posterior capacitación del personal.

Asimismo, el horizonte de evaluación corresponde otro factor importante a considerar. Para el caso del proyecto en el HLCM, se tomará como punto de inicio el levantamiento de datos, la posterior implementación y capacitación del personal para la utilización del apoyo computacional. Además, si este proyecto fuera implementado en otro hospital público en Chile, es necesario incorporar los costos

en que se incurre al tener que levantar la información desde cero y generar los modelos de predicción y análisis de capacidades.

Por lo tanto, adicional a los costos oportunidad mencionados en la implementación por parte del hospital, es importante incluir el tiempo invertido por los ingenieros de procesos para llevar a cabo la gestión del cambio y capacitación. A continuación, se detallarán los costos del proyecto separados por actividades.

- **RRHH**

- 1 Ing. de Negocios: Estos, trabajando a tiempo completo por 6 meses para levantar datos, desarrollar los modelos, diseñar un apoyo computacional y llevar a cabo la gestión del cambio y capacitación del hospital a un costo de \$1.000.000 mensual, da un total de \$6.000.000
- 1 equipo de desarrollo consistente en un ingeniero en computación más un programador JAVA, con un costo mensual de 2.000.000 durante 6 meses, da un total de \$12.000.000
- Adicionalmente, se considerará un costo de mantención de los modelos de pronóstico en los años en que el proyecto esté en marcha, equivalentes a un mes del equipo de desarrollo, ya que se estima que a lo más deberá cambiarse una vez al año.

- **Costos Oportunidad – Implementación**

- Capacitación
  - Equipo EPH: La capacitación de la persona del EPH encargada de conocer la herramienta constó de 4 horas a un costo de \$10.000 por hora por lo que tiene un costo total de \$40.000.
  - Coordinación: La capacitación de las dos personas de coordinación para la utilización de la herramienta fue de 6 horas, un costo de \$10.000 por hora, llegando a un total de \$120.000.

- Médicos: los médicos también recibieron una pequeña capacitación y muestra de resultados obtenidos. Se realizaron 4 reuniones de 3 horas cada una con tres médicos por capacitación, llegando a un total de \$480.000.
    - Jefe de Urgencia: la capacitación del jefe de urgencia en conjunto con el personal médico fue de 12 horas hombre evaluadas en \$15.000, llegando a un total de \$180.000.
  - Utilización de la herramienta
    - Jefe Planificación: 1 vez al mes el planificador debe gastar 1 hora de su jornada mensual en la aplicación para evaluar distintos escenarios. Este costo fue estimado como \$20.000 mensuales durante todo el horizonte del proyecto.
  - Policlínico Docente
    - Médico Profesor: el policlínico docente constará de un médico profesor por los 5 días hábiles de la semana. Sin embargo, el costo de este médico se considera costo hundido dado que únicamente se estaría cambiando el lugar físico de clases, es decir, el médico imparte las clases con y sin proyecto.
    - Alumnos Medicina: los alumnos de medicina presentes en el policlínico son 2; consideraremos su costo oportunidad de trabajar en otro lugar a un valor de \$5.000 la hora por las 30 horas mensuales da un total de: \$300.000 al mes.

El costo del equipo planificador y el policlínico docente corresponden a costo en los años posteriores a la implementación del proyecto.

Resumiendo toda la información anterior, el costo de implementación sería el siguiente y corresponde a los primeros tres meses del año cero del proyecto.

<b>RRHH</b>	<b>Valor</b>
• Ingeniero	\$ 6.000.000
• Equipo de desarrollo	\$12.000.000
<b>Hardware</b>	\$ 500.000
Total	<b>\$18.500.000</b>

**Tabla 45: Resumen Costo de desarrollo**

Asimismo, los costos después de la implementación del proyecto y para su funcionamiento en años posteriores son los mostrados en la siguiente tabla

<b>RRHH</b>	<b>Valor</b>
• Mantención Modelos	\$ 2.000.000
<b>Costo Oportunidad</b>	
• Jefe Planificación	\$ 120.000
• Estudiantes Medicina	\$ 300.000
Total	<b>\$ 2.420.000</b>

**Tabla 46: Resumen Costos Anuales después de la Implementación**

### **17.3. Construcción del Flujo de Caja**

#### **17.3.1. Tasa social de descuento**

La tasa social de descuento representa el costo en que incurre la sociedad cuando el sector público extrae recursos para financiar sus proyectos.

Estos recursos provienen de las siguientes fuentes: de menor consumo (mayor ahorro), de menor inversión privada y del sector externo. Por lo tanto, depende de la tasa de preferencia inter temporal del consumo, de la rentabilidad marginal del sector privado y de la tasa de interés de los créditos externos.

“La tasa social de descuento (TSD) a emplear será de 6% para el año 2010 y en adelante” (Mideplan, 2010)

Las tasas de descuento a utilizar en la evaluación privada, deben reflejar el costo del capital para la empresa y, por tanto, deben ser calculadas por ésta.

### 17.3.2. Disminución del Tiempo de Espera

La disminución del tiempo de espera real por parte de los pacientes todavía no son medibles ya que el proyecto recién comienza a funcionar; sin embargo se estima que este aportará con una reducción de 10 minutos en promedio por paciente. Esta estimación fue obtenida por medio de la simulación en un trabajo complementario a este (Ferro, 2010). Estos 10 minutos representan la diferencia entre la situación actual y la optimizada con el proyecto. Para el flujo de caja cabe destacar que no se consideraron efectos tributarios ya que estos son devueltos a la sociedad al ser un proyecto con medición de rentabilidad social.

PERIODO	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
<i>Pacientes atendidos</i>		74950	71948	68946
<i>minutos por paciente</i>		10	10	10
<i>horas ahorradas</i>		12.492	11.991	11.491
<i>precio hora</i>		\$ 1.000	\$ 1.000	\$ 1.000
Beneficio Social	\$ 0	\$ 12.491.667	\$ 11.991.333	\$ 11.491.000
Costos Fijos		-\$ 420.000	-\$ 420.000	-\$ 420.000
<b>FLUJO DE CAJA OPERACIONAL</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 12.071.667</b>	<b>\$ 11.571.333</b>	<b>\$ 11.071.000</b>
Ingeniero MBE	-\$ 6.000.000			
Equipo Desarrollo	-\$ 12.000.000			
Mantencion de Modelos		-\$ 2.000.000	-\$ 2.000.000	-\$ 2.000.000
Hardware	-\$ 500.000			
<b>FLUJO DE CAJA DE CAPITAL</b>	<b>-\$ 18.500.000</b>	<b>-\$ 2.000.000</b>	<b>-\$ 2.000.000</b>	<b>-\$ 2.000.000</b>
<b>Total</b>	<b>-\$ 18.500.000</b>	<b>\$ 10.071.667</b>	<b>\$ 9.571.333</b>	<b>\$ 9.071.000</b>

VAN ( 6 %) \$ 7.136.211

TIR 26,2%

Tabla 47: Flujo de Caja

Si bien este primer análisis indica que el proyecto tiene rentabilidad positiva con el VAN al 6%, no es suficiente para determinar si conviene o no invertir en el proyecto; para esto, se debe tener un estudio más fino de la variables relevantes que participan en el flujo de caja por lo que en el capítulo siguiente se hizo un análisis de sensibilidad para ver la robustez de la solución.

### 17.4. Análisis de Sensibilidad

Para este primer flujo de caja, la variable que determina la rentabilidad del proyecto es el tiempo de espera de los pacientes. Es por esto que se realizó un análisis de sensibilidad sobre esta variable, dejando todo el resto igual, para determinar el punto donde se rentabiliza el proyecto.

El punto de corte para convertir en VAN en positivo es de 7,6 minutos. En la siguiente gráfica se construyó la rentabilidad en millones de pesos según el tiempo de ahorro promedio de espera.

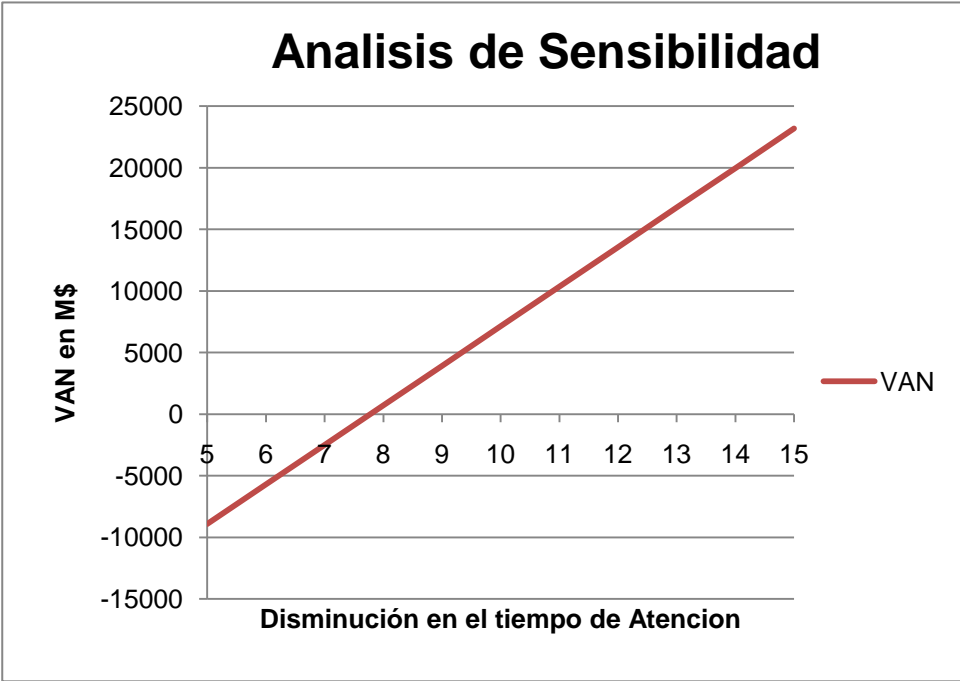
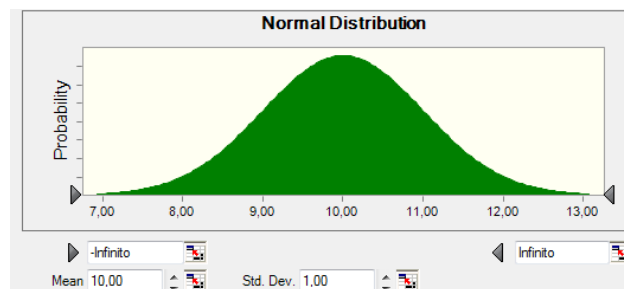


Ilustración 97: Análisis de Sensibilidad

## 17.5. Análisis por Simulación

A pesar de que la variable más relevante para el análisis de sensibilidad es el tiempo promedio de espera por paciente reducido por el proyecto, existen otras variables importantes, también inciertas, para un análisis más detallado del flujo de caja como, por ejemplo, el aumento de pacientes en el hospital debido a una mejor atención o el aumento de pacientes que no se van sin ser atendidos, porque no tienen un tiempo excesivo de espera. Éstas serán explicadas con mayor detalle en el presente capítulo.

Como se pudo ver anteriormente, la disminución del tiempo de espera corresponde a una variable que presenta un gran nivel de incertidumbre y que fue calculada en una herramienta de simulación y a través de un proceso de simulación de la atención de urgencia (Ferro, 2010). Por lo tanto, para el análisis de simulación del flujo de caja el valor estático “*Disminución tiempo de espera*” fue sustituido por un comportamiento probabilístico con promedio 10 minutos y desviación estándar de 1 minuto.

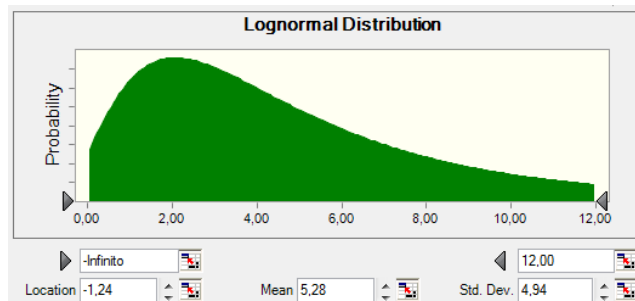


**Ilustración 98: Distribución probabilística de la disminución del tiempo de espera**

Asimismo, una mejora en el servicio de atención de urgencia producto de una disminución de los tiempos de atención genera un impacto en la demanda que es realmente atendida en el hospital, que corresponde a los pacientes que estuvieron en urgencias pero no fueron atendidos LWBS.

Esta variable no fue posible obtenerla de forma empírica o a través de los datos, por lo tanto se tomó un valor aproximado promedio de 5,28% que resulta de

un promedio de distintos estudios. (Brand, Kennedy, MacBean, Sundararajan, & Taylor, Junio 2005)



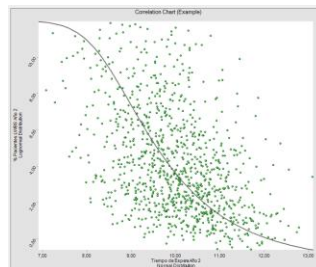
**Ilustración 99: Distribución probabilística de la disminución de pacientes LWBS**

Como se aprecia en la Ilustración 99, la distribución probabilística que mejor se ajustó al estudio es una Log Normal con media 5,28%, desviación estándar 4,94.

Por lo tanto, para el horizonte de evaluación del proyecto existen dos variables inciertas que deben ser analizadas para tener una aproximación ideal del VAN del proyecto. Asimismo, se pudo determinar que estas variables tienen relación, ya que mientras más disminuya el tiempo de atención, el número de pacientes atendidos tenderá a aumentar producto de la disminución del porcentaje de pacientes LWBS.

Dada la relación entre las variables, se evaluaron dos escenarios variando el coeficiente de correlación entre las variables.

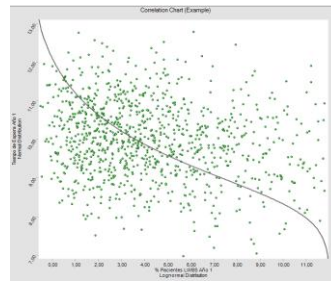
1. Escenario 1: correlación de factor - 0,5.



**Ilustración 100: Correlación 0,5 positiva de las variables tiempo de espera vs. Pacientes LWBS**



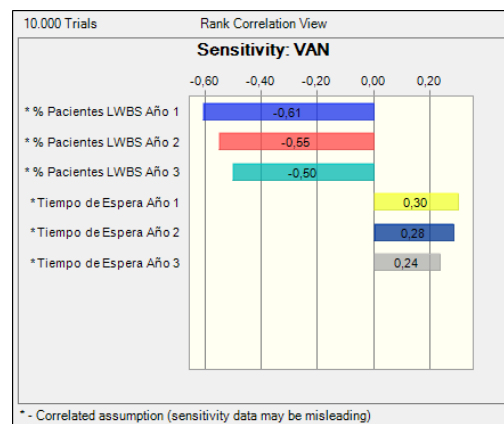
## 2. Escenario 2: correlación de factor 0,25.



**Ilustración 101: Correlación 0,25 positiva de las variables tiempo de espera vs. Pacientes LWBS**

### 17.5.1. Resultados Escenario correlación -0,5

Estos resultados muestran el comportamiento del VAN y un análisis de sensibilidad de las variables consideradas tomando una correlación de -0,5 entre las variables.



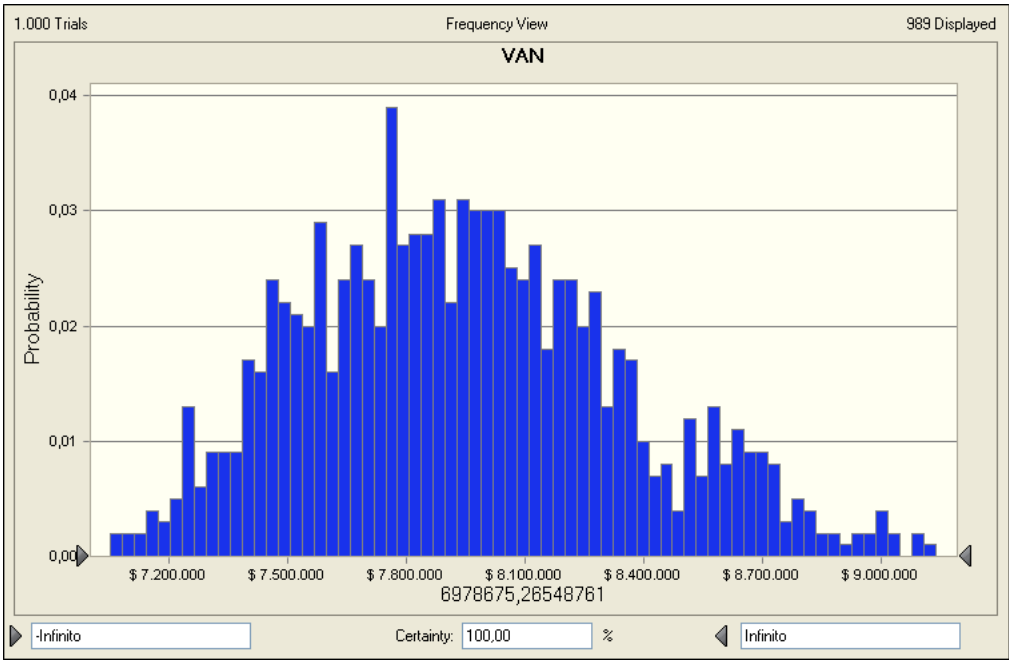
**Ilustración 102: Análisis de Sensibilidad – Escenario 1**

Como se puede ver en la ilustración anterior, las variables con una correlación positiva corresponden a las que representan disminución del tiempo de espera, esto se debe claramente a que la fuente del beneficio social es esta variable.

Por otro lado, la variable pacientes LWBS tiene una correlación negativa en el VAN ya que una menor cantidad de pacientes atendidos tiene como

consecuencia menor beneficio social. Además que un aumento desmedido de la cantidad de pacientes atendidos impacta negativamente porque aumenta el tiempo de espera.

Otra salida de la simulación es una gráfica de frecuencia del comportamiento del VAN (ver Ilustración 103) la cual corresponde a una distribución normal con media \$ 7.958.189 y con un intervalo de confianza del 99% que el VAN va a resultar positivo.



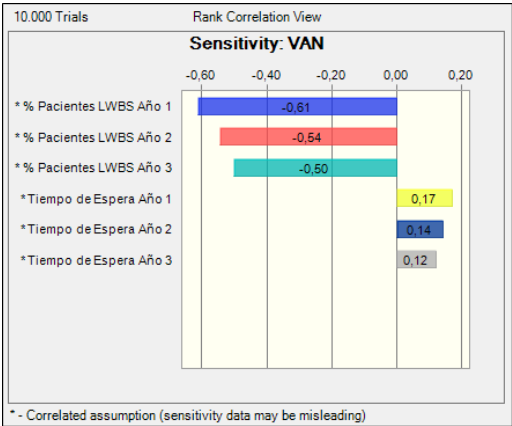
**Ilustración 103: Frecuencia del VAN – Escenario 1**

**17.5.2. Resultados Escenario correlación -0,25**

Este segundo escenario busca conocer el impacto en el VAN de una correlación de - 0,25 entre las variables.

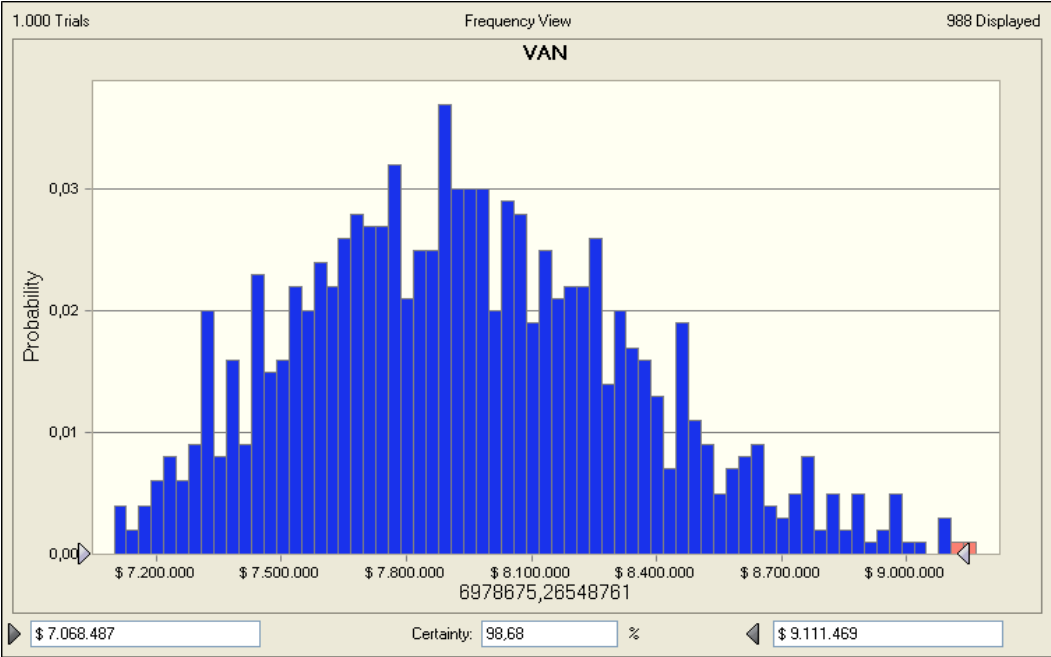
Para este escenario también se analizará, en primer lugar, el gráfico de sensibilidad de las variables. En la Ilustración 104 se observa, al igual que en la Ilustración 102, que las variables más representativas son los tiempos de espera; sin embargo el impacto de los pacientes LWBS es menor debido a que la cantidad

de personas puede aumentar en la urgencia, lo que aumentaría los ingresos sociales.



**Ilustración 104: Análisis de Sensibilidad – Escenario 2**

Por último tenemos en la Ilustración 105 el gráfico del comportamiento del VAN, el cual resulta muy similar al escenario 1 y por ende también garantiza con un intervalo de confianza del 99% un VAN positivo y una media de \$ 7.963.558



**Ilustración 105: Frecuencia del VAN – Escenario 2**

### **17.5.3. Conclusiones de la Simulación**

Después de analizar los dos escenarios evaluados, se puede concluir que el proyecto posee un gran posibilidad de presentar un VAN social positivo a una tasa social de descuento del 6%, con un promedio de cercano a los \$ 7 MM, por lo que el proyecto se justifica completamente.

De igual forma no se debe perder de vista que este proyecto representa una optimización de la situación actual, lo cual, dado los resultados obtenidos, es una buena alternativa y con una inversión marginal frente a construir nueva infraestructura.

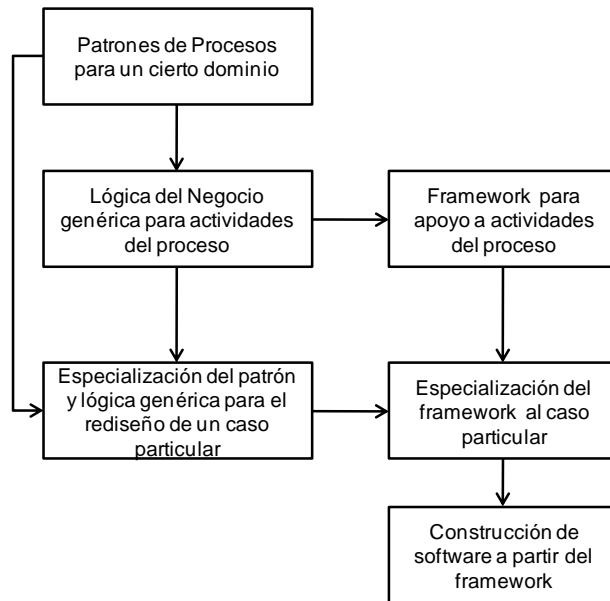
## 18. Framework

La aplicación de patrones de procesos de negocio, a un dominio particular, permite formalizar y detallar los procesos de la empresa, considerando no sólo las actividades de los procesos diseñados, sino también los flujos de información que hay entre ellas (Barros, 2004) .La aplicación de ingeniería de negocio al rediseño de procesos, además permite estructurarlos en una arquitectura empresarial y apoyarlos adecuadamente con tecnología.

Cada proceso diseñado posee lógicas complejas de negocio, que explicitan cómo las actividades deben ser realizadas. Por ello, la definición y formalización de dichas lógicas, es trascendental para comprender el rol que cumplen en la generación del producto o servicio. Adicionalmente, el diseño de software debe estar alineado con los procesos que soporta, de tal forma que se integre sin problemas con la tecnología existente y además responda a las necesidades del negocio.

El *Framework* es una estructura genérica de clases, que sirve como base común para el desarrollo de software en empresas de un dominio particular, pero que se puede adaptar a las características y necesidades propias de cada una de ellas. Este esquema permite que los esfuerzos se centren en las especificaciones de la aplicación, reduciendo los costos y tiempos asociados a su desarrollo. (Barros, 2004), explica que este concepto de *Framework* “difiere del tradicional, en que se encuentra orientado a una lógica de negocio compleja, y está basado en métodos analíticos avanzados, provenientes de Estadística e Inteligencia de Negocios”.

Adicionalmente, muestra que los BOF (*Business Objects Frameworks*), pueden ser derivados de los patrones de procesos y lógicas de negocio. En consecuencia, es posible proponer una estructura genérica de objetos de negocio que incorpore el conocimiento del diseño de procesos de este trabajo, para facilitar el desarrollo de aplicaciones que resuelvan el mismo problema en un dominio similar.



**Ilustración 106: Diagrama de flujo para utilización de patrones y framework**

De la Ilustración 106 se puede apreciar etapas fundamentales para la elaboración del *framework*, que se detallan a continuación:

- a) **Procesos para un dominio definido:** Es importante definir el dominio de acción del *framework*, ya que éste influirá directamente en las etapas posteriores. Para determinar el dominio, es importante que se definan los requisitos de éste y, sobre todo, cuáles son las características generales que definen el proceso propuesto en el trabajo.
- b) **Lógica de Negocios Genérica:** Establecer una lógica de negocios que soporte al dominio de forma genérica, teniendo en consideración diferentes especializaciones que acotaran el dominio de acción de la lógica de negocio.
- c) **Diseño del *Framework*:** Aquí se definen las abstracciones del *framework* y se procede a modelar las clases comunes y particulares, manteniendo la flexibilidad necesaria para actuar en el dominio definido.

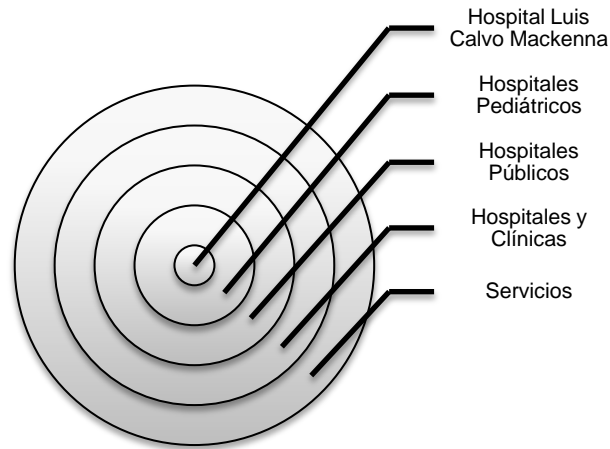
## **18.1. Alcance del *Framework***

Antes de comenzar a definir el *Framework*, es importante limitar el alcance del proyecto. En particular, en este trabajo se han diseñado dos procesos fundamentales para la relación del Hospital Luis Calvo Mackenna con sus pacientes con el objetivo de dar una mejor calidad de atención. Estos son: el análisis de demanda y la caracterización de estos. Para estos es posible proponer un *Framework* que responda a la necesidad de evaluar y ofrecer servicios a los clientes en base a sus necesidades de consumos, así como de ajustar la oferta o la demanda a la necesidad de los clientes.

Por lo tanto, la propuesta de este *Framework* es “Pronosticar demanda futura en base a datos históricos y variables explicativas y generar segmentaciones dentro del pronóstico”

## **18.2. Definición del dominio**

La solución planteada en este proyecto para el análisis de demanda en el Hospital Luis Calvo Mackenna es posible llevarla a un dominio mucho mayor, tal como se muestra en la Ilustración 107, llegando a abarcar a las empresas de servicios con problemas de incertidumbre en la demanda. Esta similitud se debe a que todas estas empresas prestan servicios están sujetos a la demanda que generan los clientes/pacientes y éstos deben ser atendidos presentan el mejor servicio posible.

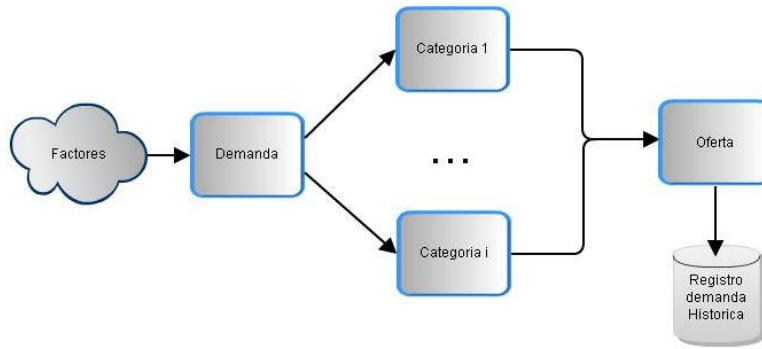


**Ilustración 107: Dominio del Framework**

### **18.3. Lógica de Negocios Genérica**

Para generar una lógica de negocios genérica, el primer paso es tener una abstracción de una empresa que provea de servicios a una demanda. Esta demanda está influida por diferentes factores que inducen el comportamiento; por ejemplo en el caso del un hospital puede ser variables ambientales como la temperatura; para una empresa de servicios puede ser el precio de un producto. La segunda abstracción es la diferencia en dos o más grupos dentro de la demanda. Esta diferencia es relevante cuando ambos grupos tienen comportamientos marcadamente diferentes. Finalmente en esta abstracción es necesario un último paso que es el registro de demanda real que solicita el servicio y no sólo la atendida ya que esta puede ser menor que la demanda real, introduciendo error en el modelo de predicción de demanda. Esta abstracción se diagrama en la Ilustración 108





**Ilustración 108: Abstracción empresa de servicios**

El Framework puede ser dividido en 4 pasos fundamentales:

- Recolección de datos y factores relevantes.
- Limpieza de datos y normalización.
- Construcción del modelo de predicción.
- Categorización o segmentación.

Estos pasos serán detallados en los próximos capítulos.

### **18.3.1. Recolección de datos y factores relevantes**

El primer paso es obtener los datos históricos de la demanda, para poder tener un valor objetivo con el cual entrenar los modelos. Además, esta información puede ser usada como datos relevantes de entrada para el modelo de predicción.

Posteriormente se puede agregar información que intuitivamente sea relevante para que afecte la demanda, como lo puede ser el precio del servicio o factores ambientales.

Una forma de ver la relevancia de los factores que intuitivamente pueden ser relevantes es generar un vector de correlación con la variable objetivo, que generalmente es la demanda a predecir.

Sea  $X_i$  el valor de una variable relevante para el pronóstico en periodo  $i$

Sea  $Y_i$  Resultado para el periodo  $i$

Entonces el valor promedio de estos vectores viene dado por:

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad \bar{Y} = \frac{\sum Y}{N}$$

Entonces la correlación de Pearson viene dada por la siguiente fórmula:

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) \cdot \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

El coeficiente de correlación de Pearson es un índice de fácil ejecución e, igualmente, de fácil interpretación. Esto es, si tenemos dos variables  $X$  e  $Y$ , definimos el coeficiente de correlación de Pearson entre estas dos variables como  $R_{xy}$  entonces:

$$-1 \leq R_{xy} \leq 1$$

No obstante ha de indicarse que la magnitud de la relación viene especificada por el valor numérico del coeficiente, reflejando en el signo la dirección de tal valor. En este sentido, tan fuerte es una relación de +1 como de -1. En el primer caso la relación es perfecta positiva y en el segundo perfecta negativa. Decimos que la correlación entre dos variables  $X$  e  $Y$  es perfecta positiva cuando exactamente en la medida que aumenta una de ellas aumenta la otra. Esto sucede cuando la relación entre ambas variables es funcionalmente exacta. Entonces dos variables están mayormente correlacionadas si tienen un valor absoluto más alto.

### **18.3.2. Limpieza de datos y normalización**

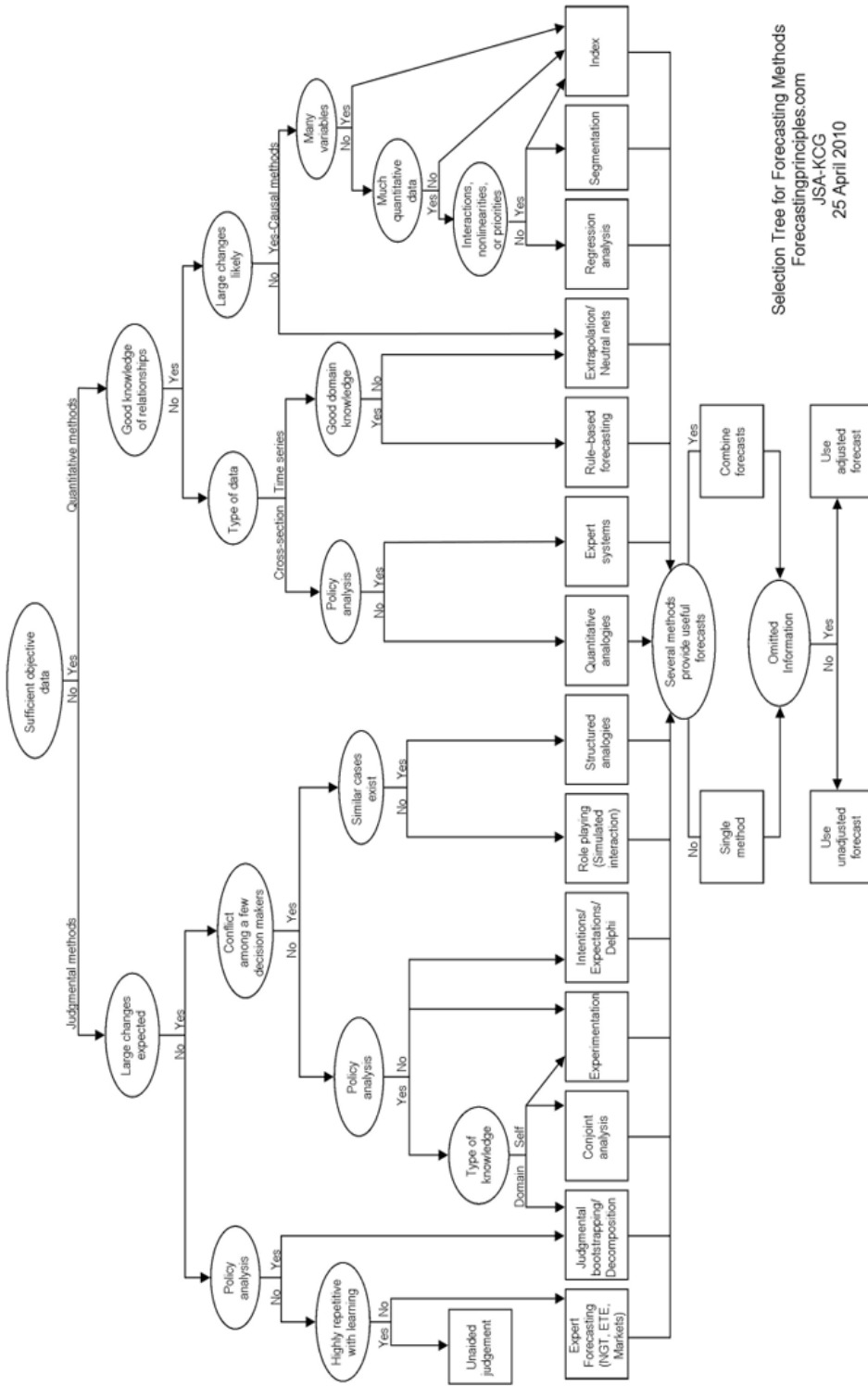
Luego de tener los datos relevantes para la predicción, estos se deben transformar a datos agregados dependiendo de la granularidad de los pronósticos (día, semanas o meses).

Luego se debe verificar datos escapados, que difieren anormalmente sobre la media. Estos datos se pueden reemplazar con la mediana o con el promedio, para un manejo detallado de valores escapados se puede buscar referencias en la literatura. (Iglewicz & Hoaglin, 1993).

Un siguiente paso es la normalización. Si bien, no es necesario aplicar esta técnica para todos los modelos de pronóstico, es altamente recomendable hacerlo, para que todas las variables de entrada tengan un peso similar. La normalización es especialmente relevante en Support Vector Regresion ya que si se tiene escalas diferentes, una dimensión aportará mucho más al valor objetivo que otra.

### **18.3.3. Construcción del modelo de predicción**

El tercer paso es la construcción del modelo. Esto se puede hacer de forma genérica, para obtener una metodología de cálculo de pronósticos. Cabe destacar que la elección de un criterio para la selección de modelos de pronóstico de series temporales dependerá del ámbito al que deba ser aplicado y la información que se cuenta y el dominio del área a pronosticar. Por lo tanto, no puede haber un recomendación única de un modelo de predicción, sin embargo hay algunas luces de que método elegir a través del siguiente árbol de decisión.



Selection Tree for Forecasting Methods  
 Forecastingprinciples.com  
 JSA-KCG  
 25 April 2010

Ilustración 109: Árbol de decisión para selección de método de pronóstico (Armstrong S. , 2010)

Con el objetivo de facilitar la elección del mejor modelo de una lista de posibles candidatos, se diseñó un algoritmo para la comparación de diferentes métodos. Estos métodos y los datos de entrenamiento deben cumplir una serie de condiciones:

1. El conjunto de históricos sobre los que se predice y, por tanto, para los cuales debe seleccionarse el modelo de pronóstico es adecuado, vale decir con suficientes datos.
2. El conjunto de modelos de pronóstico de series temporales considerados es amplio y contiene modelos de muy diversa índole.
3. Al analista le interesa tener en cuenta los errores cometidos en todo el horizonte de pronóstico y en diferentes instantes de realización del pronóstico.
4. El método debe poder ser aplicado automáticamente sin necesidad de intervención del decisor.

Sea  $X_i$  el Vector de variables relevantes para el pronóstico en periodo  $i$

Sea  $Y_i$  Resultado para el periodo  $i$

$$D = \{(X_i, Y_i) \mid X_i \in \mathbb{R}^n, Y_i \in \mathbb{R}\}$$

$$F: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$$

$$F(X_i) = Y_i$$

Dividir  $D$  en dos conjuntos, Entrenamiento  $E$  y Testeo  $T$ , usualmente se hace una partición 70% y 30% respectivamente.

$$E, T \subset D$$

Entonces si se tiene un conjunto  $M$  de modelos tal que

$$\tilde{F}_k(X_i) = F(X_i) + error_{ik} \quad k \in M$$

Entonces el error para el modelo  $k$  viene dado por

$$error_k = \sum_i (\tilde{F}_k(X_i) - F(X_i)) \quad k \in M$$

Sin embargo, tal como se explicó en el marco teórico, una mejor medida del error es el MAPE debido a que ser un error porcentual que no diferencia entre errores positivos y negativos

$$Mape\_error_k = \sum_i \frac{|\tilde{F}_k(X_i) - F(X_i)|}{F(X_i)} \quad k \in M$$

Encontrar Mejor Modelo equivale a ejecutar el siguiente algoritmo.

```
double Error_Minimo = MaxDouble;
Mejor_Modelo = null;
For (k en {Modelos Disponibles}; k++) {
    for each (Xi, Yi) ∈ E {
        Ajustar  $\tilde{F}_k(X_i)$  con  $X_i \in E$ 
    }
    If ( $\sum_{X_i \in T} \frac{|\tilde{F}_k(X_i) - F(X_i)|}{F(X_i)} \leq$  Error_Minimo) con  $X_i \in T$  {
        Error_Minimo = Mape_error;
        Mejor_Modelo =  $\tilde{F}_k(X_i)$ ;
    }
}
}
```

Finalmente, cabe destacar que a pesar de encontrar el mejor modelo para una situación particular, puede haber una mejor forma de predecir combinando dos modelos de desempeño promedio (Armstrong S. , Combining Forecasts, 2001).

### 18.3.4. Categorización

El último paso corresponde a categorizar el pronóstico. Hay dos formas de categorizar a la demanda. Una forma es dividiendo la demanda y haciendo un modelo de pronóstico para cada categoría, tal como se indica en el punto anterior. Si esto no es posible debido a la calidad o cantidad de datos, hay otras formas que se detallan a continuación.

Para tener un pronóstico caracterizado, se debe reconstruir una distribución porcentual de las categorías dependiente de los periodos y luego multiplicar el valor del pronóstico por la distribución de la categoría. de una forma más rigurosa queda expresada como sigue.

Sea  $\tilde{F}(X_i)$  un pronóstico para el periodo  $i$

$D_{ik}$   $k \in \{1, \dots, N\}$  Distribución porcentual de  $N$  clases diferentes en el periodo  $i$

$$\sum_{k=1}^N D_{ik} = 1, \quad \forall i$$

Entonces la categorización  $C(X_i)$  del pronóstico  $\tilde{F}(X_i)$  viene dado por la expresión:

$$C(X_i) = \tilde{F}(X_i) \cdot D_{ik}$$

### 18.4. Diseño del *Framework*

El *Framework* debe contener clases que permitan hacer un diseño orientado a objetos del modelo y que se integre con los sistemas de la empresa. Luego, se necesita un conjunto de clases *entity* que contenga la información de la estructura y desempeño del modelo, en cualquier periodo de tiempo. Para satisfacer lo mencionado anteriormente, se construye el diagrama de clases de control, que se muestra en la Ilustración 110



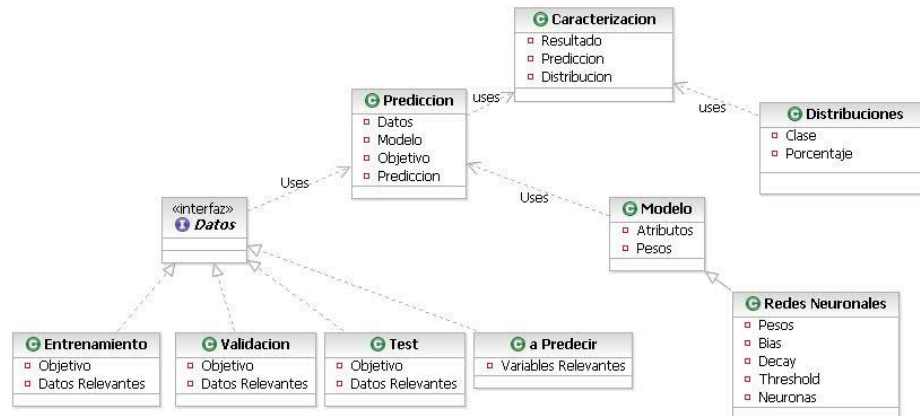
**Ilustración 110: Clases de control**

- Clase Control Datos: Clases preocupadas de recuperar y guardar nuevos datos.
- Clase Control Modelo: Clase que entrena y aplica el modelo de predicción
- Clase Control Distribuciones: Clase que posee las distribuciones y aplica la segmentación

Los métodos de las clases de control que refieren al procesamiento de la información. Los métodos que requieren conexión al paquete de predicción, así como solicitud y recepción de información desde el mismo, deben ser implementados de acuerdo al software que se utilice. El acceso a los datos dependerá de la estructura de las bases de datos de la empresa.

El diagrama de clases *entity*, que incluye distintos del modelo, se encuentra en la Ilustración 111





**Ilustración 111: Clases de Entidades**

- **Caracterización:** Se refiere a todo lo que tiene que ver con la segmentación del resultado del pronóstico. Es por esta razón que esta entidad debe tener atributos de pronósticos y de la distribución
  - **Distribuciones:**
- **Predicción:** La entidad predicción contiene los atributos del modelo, datos y los valores objetivos. Gracias a esta clase se pueden mezclar todos estos atributos
  - **Modelo:** el Modelo es una clase padre donde de él pueden heredar distintos tipos de modelo como por ejemplo redes neuronales.
- **Datos:** los datos en una clase abstracta ya que hay varios tipos diferentes de datos que deben ser tratados de manera similar: Entrenamiento, Validación y Test

## 18.5. Beneficios del Framework

El uso de un Framework es importante ya que genera una serie de beneficios, no solo en costos sino que en tiempo de implementación. Además,

esta generalización de la experiencia permite sintetizar el conocimiento para futuras implementaciones en situaciones similares

Entre los mayores beneficios podemos destacar:

- Acelera la velocidad de implementación de un sistema de apoyo de decisiones basado en pronósticos.
- Disminuye el costo y tiempo de implementación de un modelo de pronóstico.
- Componentes genéricos de software que pueden ser adaptados y reutilizados.
- Adaptar las lógicas según requerimientos, lo que hace que sea un desarrollo extensible
- Permite soluciones flexibles y económicas.
- Lógica de negocio incremental para diferentes tipos de dominio.

## **19. Conclusiones**

En este capítulo se dan a conocer las conclusiones finales del trabajo realizado y se detalla el cumplimiento de los objetivos planteados, los principales problemas generados durante el desarrollo del trabajo y cuáles deberían ser los caminos a seguir para continuar en esta misma línea.

### **19.1. Ingeniería de Negocios**

La metodología propuesta en la Ingeniería de Negocios enseña un enfoque innovador e integral del diseño de los procesos de una empresa, ya que la analiza desde su estrategia hasta llegar a los procesos que, acompañados con un correcto uso de la tecnología, puede generar importantes avances en el sentido de la productividad. Esta metodología se diferencia de una más tradicional ya que estas buscan únicamente soluciones tecnológicas que por muy caras que sean, si no van acompañados de procesos y buenas prácticas, generan poco aporte.

El análisis de la empresa partiendo de su estrategia y luego pasando por el modelo de negocio es un aporte fundamental para poder entender su funcionamiento, y una vez entendido este tema, es posible plantear correctamente la arquitectura empresarial de la empresa o plantear un rediseño pensando en un mejor funcionamiento.

La utilización de patrones de procesos de negocio (PPN) para diseñar los procesos de una empresa nueva o rediseñarlos permite agilizar el trabajo más difícil ya que en éstos ya se encuentran incluidas las mejores prácticas existentes. Asimismo, la incorporación de las relaciones entre los diferentes Macroprocesos y sus procesos permite tener una visión global del funcionamiento de la empresa.

## **19.2. Proceso de Predicción de Demanda**

La Predicción de la Demanda es un proceso fundamental ya que es este el que alimenta con información a toda la cadena de valor. Por lo tanto, una correcta predicción ayudará a aumentar la eficacia operacional y por sobre todo, los pacientes o los clientes que serán los más beneficiados gracias al mejor uso de recursos.

Como conclusiones generales del pronóstico de demanda podemos decir que la técnica Support Vector Regression (SVR) es la que genera mejores resultados; sin embargo, las redes neuronales generan resultados bastante buenos para todos los casos.

Por otro lado, los modelos más agregados generan mejores resultados que los modelos desagregados, esto debido a que estos últimos tienen una mayor variabilidad.

### **19.2.1. Modelos Mensuales**

Sin duda que los resultados alcanzados en este trabajo son alentadores. La decisión de hacer dos modelos diferentes para cada box de atención sin duda que fue la acertada. Estas dos atenciones tienen comportamientos distintos por lo que los modelos se comportan de forma diferente.

La técnica SVR es la que alcanza los mejores resultados para ambos box de atención. Estos resultados fueron validados con nueva información provista por el hospital, manteniendo los resultados con un error entorno al 5%.

### **19.2.2. Modelos Semanales**

En los modelos semanales se encontró una leve superioridad de los modelos de redes neuronales por sobre los SVR. También es interesante distinguir que a pesar de que estos modelos tienen mayor granularidad que los

modelos mensuales, su desempeño no se vio tan negativamente afectado, por lo que podrían ser usados sin problema a diario por parte del hospital.

### **19.2.3. Modelos Diarios**

Lo primero que es relevante destacar, son las correlaciones interesantes encontradas para estos modelos. En particular la alta correlación entre las clases y las atenciones del box de traumatología. Así mismo, el efecto que tienen los días lunes sobre la demanda pediátrica y la correlación negativa encontrada con la temperatura mínima.

De los datos se puede observar que la demanda de pediatría es mucho más estable que la de traumatología, por lo que tiene sentido que los resultados de los pronósticos de esta última sean en promedio bastante peores.

También se mostró que a pesar de lo desagregado de los modelos, todavía se puede tener una predicción de calidad a este nivel de granularidad. Estos modelos confirman que la técnica SVR y Redes neuronales son de las mejores probadas.

### **19.2.4. Segmentación**

No basta con tener una buena aproximación al número de pacientes que el hospital atenderá para poder generar una ventaja competitiva; se debe estar preparado para actuar frente a los distintos escenarios que el paciente (que a la vez es el cliente) requiera.

Los resultados de la segmentación mostrados en este trabajo son relativamente buenos; sin embargo, podrían ser mejores si se hace un modelo de pronóstico para cada categoría. Esto requiere una cantidad enorme de datos. La metodología propuesta aquí, funciona con una cantidad más reducida de datos con resultados aceptables.

### **19.3. Análisis de capacidades**

El modelo aquí descrito permite visualizar qué cambios generan grandes impactos en los tiempos de espera, el flujo de los pacientes y el nivel de satisfacción de los mismos. Los modelos son sensibles a diversas variaciones en los parámetros y al grado de precisión de los pronósticos de demanda hechos. A través del modelo es posible determinar la cantidad óptima de médicos que se requieren de acuerdo a la demanda de pacientes que deben atender. Haciendo una mejor distribución de los turnos en urgencia, la espera de los pacientes se reducirá prácticamente a cero. Sin embargo la cantidad de recursos necesarios extras para esta distribución óptima es de tan solo un 8,6%. Aun sin este aumento de recursos, de todas maneras se puede hacer una mejor distribución de los turnos actuales reduciendo en los turnos de la noche y aumentan en los del día.

También es posible identificar errores en la programación actual de turnos y plantear posibles soluciones a través del modelo de *scheduling*. Finalmente, se logra obtener un sistema de información piloto que sirve de referencia para futuras investigaciones. Este modelo es altamente flexible y reproducible a un año en el futuro, por lo que puede ser una excelente herramienta de gestión.

### **19.4. Gestión del cambio**

La gestión del cambio para gran parte de los proyectos representa una porción importante para su éxito.

Al momento de llevar a cabo un proyecto que impacta directamente a la organización y a sus prácticas habituales, se debe realizar un profundo análisis profundo sobre qué actores se verán afectados o serán los que utilicen la herramienta para ser considerados al momento del desarrollo de este. Además se debe generar una narrativa que logre seducir a los actores relevantes del proyecto.

Asimismo, la gestión del mapa de poder es otro factor crítico en el éxito de la implementación. Lograr el apoyo explícito y tácito de actores claves funcionará como un catalizador al momento de poner en práctica el piloto.

## **19.5. Trabajo Futuro**

Aún quedan muchos desafíos para la Ingeniería de Negocios en Chile. La mayoría de las empresas tiene un diseño muy básico de sus procesos, bajo distintas notaciones para el modelamiento. El diseño actual de muchas empresas sólo se limita a la existencia de algunos diagramas de procesos, frecuentemente desactualizados y carentes de estructura alguna, que no brindan ningún valor ni son propicios para realizar una reingeniería del negocio.

Esta disciplina no sólo responde a la estandarización del modelamiento de procesos, sino también a estructurarlos de una manera formal para generar valor en entorno cada vez más competitivo.

Por otro lado en el tema del análisis de la demanda, como trabajo futuro está incorporar las predicciones a nivel diario para los distintos boxes. Esto permitirá, en conjunto con el análisis de la demanda, adaptarse de mejor manera y proveer una mejor calidad de atención a los pacientes.

Por último hay un tema no menor de desajuste de los modelos en el tiempo, ya sea por cambio de factores ambientales, o cambio en el comportamiento de la demanda. Para esto, se deben volver a calibrar los modelos por un experto en el tema. Sin embargo esto podría hacerse de forma automatizable en base a una lógica de negocios compleja.

En cuanto al modelo de análisis de demanda, se puede extender para otros recursos como enfermeras y técnicos paramédicos y secretarías; en esta primera aproximación sólo se trabajó con los turnos médicos que son los recursos más caros en una sala de urgencia.

## 20. Bibliografía

Achterberg, T. (2007). *Constraint Integer Programming*. Berlin.

Adya, M., & Collopy, F. (1998). How effective are neural nets at forecasting and prediction? A review and Evaluation. *Journal of Forecasting* , 451-461.

Aguirre, S., Amaya, C., & Velasco, N. (2008). Planeación y Programación del Personal del Servicio de Urgencias en un Centro Médico. *Los cuadernos de PYLO – Logística Hospitalaria* .

Armstrong, J. S. (2001). Principles of forecasting. *Kluwer Academic Publishers: Norwel* .

Armstrong, S. (2001). Combining Forecasts. *Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners* .

Armstrong, S. (2010). *forecasting principles*. Recuperado el 25 de 10 de 2010, de [http://www.forecastingprinciples.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=17&Itemid=17](http://www.forecastingprinciples.com/index.php?option=com_content&task=view&id=17&Itemid=17)

Barros, O. (2004). *Business Process Patterns and Frameworks: Reusing Knowledge in Process Innovation*. DII, Universidad de Chile.

Barros, O. (marzo de 2009). Ingeniería de Negocios. *Diseño Integrado de Negocios, Procesos y Aplicaciones TI - 2da, 3ra y 4ta parte* . Universidad de Chile.



Barros, O. (Marzo de 2010). Ingeniería de Negocios. *Diseño Integrado de Negocios, Procesos y Aplicaciones TI - 1ra Parte* . Universidad de Chile.

Barros, O. (2006). La Ingeniería de Negocios y Enterprise Architecture. *CEGES, Departamento de Ingeniería Industrial* .

Barros, O. (2003). *Rediseño de Procesos de Negocios mediante el Uso de Patrones*. Comunicaciones Noreste Ltda.

Barros, O., & Julio, C. (2010). Application of Enterprise and Process Architecture patterns in Hospitals. *BPTrends* .

Barros, O., & Julio, C. (2010). Enterprise and Process Architecture Patterns. *BPTrends* , 1-15.

Berry, M. J., & Linoff, G. S. (2004). *Data Mining Techniques - For Marketing, Sales, and Customer Relationship Management* (Segunda Edición ed.). Indianapolis, United States of America: Wiley Publishing, Inc.

BizAgi. (30 de 07 de 2010). *BizAgi*. Obtenido de [www.bizagi.com](http://www.bizagi.com)

Blöchliger, I. (2003). Modeling staff scheduling problems. a tutorial. *European Journal of Operational Research* , 158.

Box, G. E., Jenkins, G. M., & Reinsel, G. C. (1994). Time Series Analysis Forecasting and Control. *Prentice Hall, Englewood Cliffs* .

Brand, C., Kennedy, M., MacBean, C., Sundararajan, V., & Taylor, D. (Junio 2005). *Patientes whe "leave without being seen" (LWBS) from an emergency department*. Melbourne: Melbourne Heath.

Burke, Causmaecker, D., Berghe, V., & Landeghem, V. (2004). The state of the art of nurse rostering. *Journal of Scheduling* .

Cherkassky, V., & Ma, Y. (2004). Practical selection of SVM parameters and noise estimation of SVM regression. *Neural Networks* , 113-126.

Departamento de Planificación y Desarrollo de la Red Asistencial, PLADE. (2008). Diagnóstico de Salud 2007 Servicio Salud Metropolitano Oriente.

Drucker, H., Burges, C. J., Linda Kaufman, A. S., & Vapnik, V. (1997). Support Vector Regression Machines. *Advances in Neural Information Processing Systems* .

Farmer, R., & Emami, J. (1990). Models for forecasting hospital bed requirements in the acute sector . *Journal of Epidemiology and Community Health* , 307-312 .

Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., & Smyth, P. (1996). From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. *American Association for Artificial Intelligence* , 37-54.

Ferro, E. (2010). *Gestión de capacidades para el servicio de atención de urgencia del Hospital Luis Calvo Mackenna*. Santiago.

Fildes, R., & Makridakis, S. (1995). The impact of empirical accuracy studies on time series analysis and forecasting. *International Statistical Review* .

Hax, A. (2010). *The Delta Model: Reinventing your Business Strategy*. Springer.

Hospital Luis Calvo Mackenna. (2010). *Historia del Hospital*. Recuperado el 15 de Enero de 2010, de <http://www.calvomackenna.cl/quienes.php>

Hospital Luis Calvo Mackenna. (2010). *Misión y Vision: HLCM*. Recuperado el 30 de mayo de 2010, de <http://www.calvomackenna.cl/vision.php>

Hwang, J., Gao, L., & Jang, W. (2010). Joint Demand and Capacity Management in a Restaurant System. *European Journal of Operational Research* .

Iglewicz, b., & Hoaglin, D. (1993). *How to Detect and Handle Outliers*.

Johnson, M. W., Christensen, C. M., & Kagermann, H. (2008). Reinventing your business model. *harvard Buisness Review* .

Jones, A., Joy, M., & Pearson, J. (2002). Forecasting demand of emergency care. *Health Care Management Science* , 297-305.

Julio, C. (2009). *Diseño de los procesos de evaluación de clientes y mantención del modelo de scoring y de segmentación, en bandesarrollo microempresas*. Santiago.

Kagermann, H., Johnson, M. W., & Christensen, C. M. (2008). Reinventing Your Business Model. *Harvard Business Review* , 51-59.

Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2001). *The Strategy-focused Organization: How Balanced Scorecard Companies thrive in the new business environment*. Harvard Business School Press.

Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). *The Balanced Scorecard: Translating Strategy to Action*. Boston: harvard Business School Press.

Kapuscinski, R., Zhang, R. Q., Carbonneau, P., Moore, R., & Reeves, B. (2004). Inventory decisions in Dell's supply chain. *Interfaces* , 191–205.

Koch, T. (2004). *Rapid Mathematical Programming*. Berlin.

McCulloch, W., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, .

MIDEPLAN. (2006). *Encuesta Casen*. Recuperado el 7 de 26 de 2010, de [www.mideplan.cl/casen](http://www.mideplan.cl/casen)

MIDEPLAN. (2007). *Ministerio de Planificacion*. Recuperado el Septiembre de 2010, de Ministerio de Planificacion: [http://sni.mideplan.cl/documentos/Metodologias/me\\_atenc\\_primar\\_salud.pdf](http://sni.mideplan.cl/documentos/Metodologias/me_atenc_primar_salud.pdf)

Mideplan. (2010). *Precios sociales para la evaluación social de proyectos*.

Ministerio de Salud. (2010). *MinSal*. Recuperado el 30 de Mayo de 2010, de [http://www.redsalud.gov.cl/portal/url/page/minsalcl/g\\_conozcanos/g\\_mision\\_vision/presentacion\\_mision\\_vision.html](http://www.redsalud.gov.cl/portal/url/page/minsalcl/g_conozcanos/g_mision_vision/presentacion_mision_vision.html)

Parr Rud, O. (2001). *Data Mining Cookbook - Modeling Data for Marketing, Risk, and Customer Relationship Management*. New York, United States: John Wiley & Sons, Inc.

Pei, J., Kamber, M., & Han, J. (2005). *Data Mining: Concepts and Techniques* (2 edition ed.). Morgan Kaufmann.

Porter, M. (1996). What is Strategy? *Harvard Buissnes Review* .

Schweigler, McCarthy, Bukowski, Ionides, & Younger. (2009). Forecasting models of emergency department crowding. *Academic Emergency Medicine* , 301-308.

Servicio Salud Metropolitano Oriente. (2010). *Red Asistencial: Mapa Virtual*. Recuperado el 01 de Junio de 2010, de <http://www.saludorient.cl/isc/index.php?modulo=1828&contenido=3425&opcion=2> 575

Smola, A. J., & Schölkopf, B. (2004). A tutorial on support vector regression. *Statistics and Computing* .

SSMO. (2010). *Servicio de salud metropolitano oriente*. Recuperado el 27 de 07 de 2010, de <http://www.saludorient.cl/isc/index.php?modulo=1828&contenido=3109&opcion=2> 581

Vapnik, V. (1995). *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer-Verlag.

Velásquez, J. D., Olaya, Y., & Franco, C. J. (2010). Predicción de series temporales usando máquinas vectoriales de soporte. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 18 N° 1 , 64-75.

Warner. (2006). Personnel staffing and scheduling. *W. Hall, Patient Flow: Reducing delay in health care delivery* .

Warner, & Prawda. (1972). A Mathematical Programming Model for Scheduling Nursing Personnel in a Hospital. *Management Science* .

White, S. A. (2004). Introduction to BPMN. *BPTrends* .

## 21. Anexos

### 21.1. Anexo I - Servicios de Salud de Chile

Lista de los servicios de salud correspondientes a la región Metropolitana y al resto de las regiones.

<b>Servicios de Salud Pública de la Región Metropolitana</b>
Servicio Metropolitano Norte
Servicio Metropolitano Occidente
Servicio Metropolitano Oriente
Servicio de Salud Metropolitano Sur
Servicio de Salud Metropolitano Sur Oriente
<b>Servicios de Salud Pública de Regionales</b>
Servicio de Salud Arica
Servicio de Salud Iquique (Hospital Iquique)
Servicio de Salud Antofagasta
Servicio de Salud Atacama
Servicio de Salud Coquimbo
Servicio de Salud Viña del Mar - Quillota
Servicio de Salud Valparaíso – San Antonio
Servicio de Salud O’Higgins
Servicio de Salud Aconcagua
Servicio de Salud Maule
Servicio de Salud Concepción
Servicio de Salud Talcahuano
Servicio de Salud Bío Bío
Servicio de Salud Ñuble
Servicio de Salud Araucanía Norte
Servicio de Salud Araucanía Sur
Servicio de Salud Valdivia
Servicio de Salud Osorno
Servicio de Salud Llanquihue, Chiloé, Palena
Servicio de Salud Aysén
Servicio de Salud Magallanes

## 21.2. Anexo II - Red Centros de Salud Servicio Metropolitano Oriente

Centros de salud correspondientes al Servicio Metropolitano Oriente

Tipo	Nombre	Comuna	Dirección
Centro De Salud	Juan Pablo II	La Reina	Parinacota 440
Centro De Salud	La Reina	La Reina	Echenique 8419
Centro De Salud	Aníbal Ariztía	Las Condes	Paúl Harris 1140
Centro De Salud	Apoquindo	Las Condes	Cerro Altar 6611
Centro De Salud	Lo Barnechea	Lo Barnechea	El Rodeo 13533
Centro De Salud	Félix de Amesti	Macul	El Líbano 5557
Centro De Salud	Padre hurtado	Macul	Arturo Prat 4345
Centro De Salud	Santa Julia	Macul	Gregorio de la Fuente 2531
Centro De Salud	Rosita Renard	Ñuñoa	Las Encinas 2801
Centro De Salud	Salvador Bustos	Ñuñoa	Grecia 4369
Centro De Salud	Cardenal Raúl Silva Henríquez	Peñalolén	Río Claro 1020
Centro De Salud	Carol Urzúa	Peñalolén	Consistorial 1960
Hospital	Cordillera Oriente	Peñalolén	Las Torres 5100
Hospital	Dr. Luis Tizne	Peñalolén	Las Torres 5150
Centro De Salud	La Faena	Peñalolén	Orientales 7250
Centro De Salud	Lo Hermida	Peñalolén	Alejandro Sepúlveda 693
Hospital	Pedro Aguirre Cerda	Peñalolén	José Arrieta 5969
Centro De Salud	San Luis	Peñalolén	La Pradera 5370
Hospital	Dr. Luis Calvo Mackenna	Providencia	Antonio Varas 360
Centro De Salud	El Aguilucho	Providencia	El Aguilucho 3292
Hospital	El Salvador	Providencia	Salvador364
Centro De Salud	Hernán Alessandri	Providencia	Los Jesuitas 857
Hospital	Nacional de Geriatría	Providencia	José miguel infante 370
Hospital	Nacional del Tórax	Providencia	José miguel infante 717
Hospital	Neurocirugía Dr. Asenjo	Providencia	José miguel infante 553
Centro De Salud	Vitacura	Vitacura	Indiana 1195



### **21.3. Anexo III - Cartera de servicios Hospital Luis Calvo Mackenna**

Servicios Ofrecidos por el Hospital Luis Calvo Mackenna

#### **Servicios Clínicos**

- Prestaciones Generales
  - Día/cama hospitalización integral unidades de pediatría
  - Día/cuna de hospitalización integral de pediatría
  - Consulta médica integral en especialidades
  - Consulta médica integral en Servicio de Urgencia
  - Camilla de observación en Servicio de Urgencia
  - Diagnóstico, tratamiento médico y atención integral de enfermería de pacientes hospitalizados por:
    - Patología broncopulmonar aguda y crónica
    - Patología renal aguda y crónica
    - Alteraciones metabólicas y nutricionales
    - Patología neurológica
    - Patología psiquiátrica y psicológica
    - Patología oncológica (leucemia, linfoma y otras)

#### **Servicios Quirúrgicos**

- Cirugía
  - Cirugía cardiovascular con y sin CEC
  - Cirugía craneofacial y de tejidos blandos
  - Cirugía de fisurados y malformaciones craneofaciales
  - Cirugía de malformación ano rectal
  - Cirugía de polo caudal
  - Cirugía del Oído Medio
  - Cirugía Endoscópica c/s toma de biopsias, c/s toma de muestras
  - Cirugía General de Urgencia

- Cirugía oncológica
- Cirugía Quemados
- Cirugía Recién Nacido Patológico
- Cirugía Urológica Compleja
- Cirugía vía aérea
- Implante marcapasos
- Trasplante Hepático y renal
- traumatología
  - Cirugía de columna Vertebral
  - Cirugía de salvataje de Extremidades en Osteosarcoma
  - Cirugía de Mano y neurografías

### **Servicios de Apoyo**




- Unidad Paciente Crítico - UPC
- Laboratorios
  - Exámenes bioquímicos
    - Exámenes bioquímicos corrientes
    - Monitoreo terapéutico de fármacos (metotrexato, micofenolato, amikacina, vancomicina)
    - Exámenes hormonales (T4, T4 libre, TSH, parathormona)
    - Niveles de amonio en sangre
  - Exámenes hematológicos
    - Citología
    - Estudio de Médula ósea
    - Estudio de anemia, neutropenia, trombocitopenia, leucemias
    - Estudios de trastornos de la coagulación
- Imágenes
  - Radiología
  - Ecotomografía
  - Tomografía axial computarizada
  - Radiografía de esófago-estómago-duodeno

- Uretrocistografía
- Radiología convencional de Urgencia
- Anatomía Patológica
  - Citodiagnóstico
  - Estudio histopatológico de biopsias rápida y diferida (tinción corriente, inmunohistoquímica)
  - Necropsias
  - Diagnóstico de enfermedad de Hirschprung
  - Diagnóstico de miopatías (mitocondriales, congénitas, distrofias musculares)
- Kinesiterapia y Terapia Ocupacional
  - Evaluación de función respiratoria
  - Evaluación de función motora
  - Kinesiterapia especializada cardiopulmonar
  - Rehabilitación respiratoria de fibrosis quística
  - Kinesiterapia especializada en rehabilitación motora (pie bot, disfunción de rotadores de cadera, quemados, prótesis, columna)
  - Tratamiento de cicatrices en quemados (Ortesis y ropa compresiva)
  - Ortesis y ropa compresiva para rehabilitación de malformación de extremidades
  - Rehabilitación de lesiones traumáticas de extremidades (amputaciones, atriciones, quemaduras)
  - Programa de reeducación motriz de pacientes obesos
  - Fisioterapia y movilización pacientes hemofílicos
  - Biofeed-back (reeducación perineal en malformaciones anorectales)
- Unidad de Medicina Transfusional (Banco de Sangre)
  - Obtención y preparación automatizada de plaquetas en donante único, con máquina separadora celular
  - Set de exámenes por unidad de glóbulos rojos transfundida
  - Set de exámenes por unidad transfundida de plasma, plaquetas, crioprecipitados



- Prueba de compatibilidad por unidad de glóbulos rojos
- Transfusión en niño
- Hemaféresis con máquina separadora celular
- Servicio Social
  - Consulta Social Especializada a familias de pacientes crónicos y patologías GES (Contención, educación , evaluación familiar, y coordinación con redes)
  - Consulta Salud Mental a familias de pacientes que requieren de apoyo de Psiquiatría (Contención, evaluación del proceso, apoyo familiar y derivación )
  - Consulta Social por previsión para acceso a atención de salud (Orientación previsional, derivación de antecedentes a Fonasa para calificación de indigencia o condonación de pago)
  - Consulta Social de Gestión de recursos a familias de pacientes sin capacidad económica para financiar contingencias médicas (contención, evaluación socioeconómica, informe social, coordinación con redes)
  - Consulta Social de apoyo a familias de regiones (contención, y ubicación de casa
  - hogar para permanencia, coordinación con voluntariados )
- Farmacia
  - Entrega de medicamentos controlados y no controlados a pacientes ambulatorios.
  - Entrega de medicamentos incluidos en programas (VIH, epilepsia, terapia del dolor).
  - Entrega de medicamentos en dosis unitaria a pacientes hospitalizados.
  - Preparación de mezclas de nutrición parenteral total.
- Esterilización




## 21.4. Anexo IV - Notación Extendida BPMN

- Eventos de inicio Extendido


NOMBRE BPMN	USO	NOTACIÓN
Mensaje de Inicio	Un proceso activo envía un mensaje a otro proceso específico para activar su inicio.	
Temporizador inicio	Se puede fijar una hora-fecha específica (ej. todos los lunes a las 9am) en la que se activará el inicio del proceso.	
Señal de inicio	Un proceso activo envía una señal y causa el inicio del proceso.  Notar que la señal se envía a cualquier proceso que pueda recibir la señal, pero no es un mensaje (el cual tiene una fuente específica y un objetivo).	





- Eventos Finales Extendidos



NOMBRE BPMN	USO	NOTACIÓN
Terminador	Es el fin del proceso. Solo existe uno por flujo. Si el proceso alcanza este evento, éste será cerrado.	
Cancelación	Este tipo de Fin es usado dentro de un subproceso de transacción. Éste indicará que la transacción debe ser cancelada y causará un Evento Intermedio de Cancelación adjunto	

	a la frontera del subproceso.	
Error	Esta figura se usa para capturar errores, si están definidos o no. Todos los threads activos actualmente en un subproceso particular son en consecuencia terminados. El error será tomado por un Evento Intermedio de Error con el mismo Nombre, que está en la frontera de la actividad pariente más cercana.	
Mensaje	Este tipo de Fin indica que un mensaje se envía a un proceso o caso de actividad específica, al concluir el proceso.	
Señal	Este tipo de Fin indica que la señal será transmitida cuando el Fin haya sido alcanzado. Note que la señal es enviada a cualquier proceso que pueda recibir la señal y pueda ser enviada a través de los niveles del proceso, pero no es un mensaje (el cual tiene una fuente y un objetivo).	


- Eventos Intermedios Extendidos

NOMBRE BPMN	USO	NOTACIÓN
Temporizador	Esta figura representa un mecanismo de retraso dentro del proceso. Este tiempo puede ser definido en una Expresión o como parte de la información del proceso (Fecha o duración en cualquier unidad de	

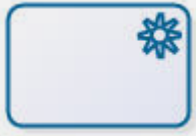
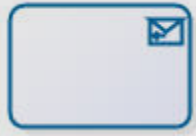
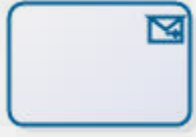


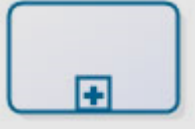
	tiempo).	
Compensación	El Evento Intermedio indica que es necesaria una compensación. Entonces, se usa para "lanzar" el evento de compensación. Si una actividad es definida y ésta fue completada exitosamente, entonces la actividad será compensada.	
	Caminos de excepción del flujo ocurren fuera del flujo normal del proceso y se basa en un evento intermedio que ocurre durante el curso del proceso. En la figura me muestra el uso de línea de excepción con un subproceso y una actividad.	
Error	Un Evento de Captura de Error Intermedio puede ser unido sólo a la frontera de una actividad. Notar que un Evento de Error siempre interrumpe la Actividad a la que está unido.	
Mensaje	Un Evento Intermedio de Mensaje puede ser usado tanto para enviar como para recibir un mensaje. Cuando se usa para "lanzar" el mensaje, un marcador DEBE ser llenado. Cuando se usa para "atrapar" el mensaje el marcador DEBE estar sin llenar. Esto causa que el proceso continúe si éste estaba esperando por el mensaje o cambia el flujo para manejo de excepciones. Para atrapar y lanzar mensajes debe tener el mismo nombre.	




Enlace	Un Enlace es un mecanismo para conectar dos secciones de un Proceso. Los Eventos de Enlace pueden ser usados para crear situaciones de bucle o para evitar líneas de Secuencia de Flujo largas. Los usos de los Eventos de Enlace son limitados a un solo nivel de proceso.	
Señal	Las señales son usadas para enviar o recibir comunicaciones generales dentro y a través de los niveles de Proceso y entre Diagramas de Proceso de Negocio. Una señal BPMN es similar a una señal de bengala que se dispara al cielo para cualquiera que pudiera estar interesado y luego reaccionara. Entonces hay una fuente de la señal, pero ningún objetivo específico.	

- Actividades Extendidas


<b>NOMBRE BPMN</b>	<b>USO</b>	<b>NOTACIÓN</b>
Tarea de Usuario	Es una tarea de “flujo de trabajo” donde un humano realiza una tarea que tiene que ser completada en cierta cantidad de tiempo. Se usa cuando el trabajo durante el proceso no puede ser descompuesto en un nivel más fino dentro del flujo.	







Tarea de Servicio	Una Tarea de Servicio es una tarea que usa algún tipo de servicio, que podría ser un servicio Web o una aplicación automática.	
Tarea de Recibir	Una Tarea de Recibir es una tarea simple para que llegue un mensaje. Una vez el mensaje haya sido recibido, la tarea es completada.	
Tarea de Enviar	Una tarea de Enviar es una tarea simple que es designada para enviar un mensaje a un proceso o caso específico. Una vez el mensaje haya sido enviado, la tarea es completada.	
Script	Una tarea de Script es una tarea automática en la que el servidor ejecuta un script. No tienen interacción humana y no se conecta con ningún servicio externo.	
Manual	Ésta es una Tarea que se espera que sea realizada sin la ayuda de algún motor de ejecución de proceso de negocio o alguna aplicación. Un ejemplo de esto puede ser una secretaria archivando documentos físicos.	
Subproceso	Un subproceso es una actividad compuesta incluida dentro de un proceso. Éste es compuesto dado el hecho que esta figura incluye un conjunto de actividades y una secuencia lógica (proceso), que indica que la actividad mencionada puede ser	

	analizada a un nivel más fino. Se puede colapsar o expandir.	
Subproceso Múltiple	Esta propiedad del subproceso permite la creación de instancias múltiples. Cada instancia representa una relación 1-N dentro del proceso. Subprocesos múltiples aplican sólo para procesos no embebidos.	
Subproceso Transaccional	Un Subprocesos Transaccional facilita la implementación de escenarios de negocio con transacciones cuyas ejecuciones podrían durar muchos días o semanas hasta que el conjunto de actividades sea completado. Una transacción es realizada exitosamente cuando los cambios a ser implementados (actualización, adición o eliminación de registros) son grabados en la base de datos.	
Subproceso Embebido	Contiene un conjunto de actividades que no son independientes del proceso pariente, y por esto, comparten la misma información o datos.	

- Decisiones extendidas

TIPO DE DECISIÓN	DEFINICIÓN	NOTACIÓN
Decisión Exclusiva	Decisión basada en datos del sistema. El mismo elemento se usa para sincronizar esta figura.	

Decisión Basada en Evento	Puntos en el proceso en el que la decisión no está basada en los datos del proceso sino en eventos.	
Decisión Inclusiva	Inclusiva o multi-decisión. Uno o más caminos pueden ser activados. Uno o más caminos deben sincronizarse dependiendo de las actividades anteriores de la misma figura.	
Decisión Compleja	Elemento para controlar puntos de una decisión compleja. Por ejemplo, cuando 3 de 5 caminos deben esperar.	
Decisión Paralela	Indica puntos en el proceso en el que varias ramas se desprenden o convergen en paralelo. El mismo elemento se usa para sincronizar esta figura.	

## 21.5. Anexo V - Plataforma JEE

JEE es el acrónimo de *Java Enterprise Edition* que es la edición empresarial del lenguaje de programación Java creada y distribuido por *Sun Microsystems*. Comprende un conjunto de especificaciones y funcionalidades orientadas al desarrollo de aplicaciones Empresariales.

La idea es definir una plataforma robusta y flexible orientada a cubrir las necesidades empresariales en *e-business* y *business-to-business*, esto debido a que las empresas necesitan constantemente expandirse, reducir costos, y bajar los tiempos de respuesta para proporcionar un fácil y mejor acceso a sus clientes, empleados y proveedores.

Para lograr esto las empresas necesitan sistemas de información que cumplan con las siguientes características:

- Seguridad: para proteger la privacidad de los usuarios y la integridad de la información de la empresa.
- Confiable y escalable: para asegurar que las transacciones del negocio sean procesadas prontamente y con precisión.
- Alta disponibilidad: para atender las disponibilidades necesidades de hoy, en un ambiente global de negocios.

La plataforma Java2 Edición Empresarial (J2EE) reduce el costo y complejidad de desarrollo de estos servicios en ambientes multicapa (*multi-layer*) y Web, y da por resultado servicios que pueden ser creados rápidamente y fácilmente mejorados respondiendo a las presiones competitivas de la empresa. Además, al utilizar Java, se puede ejecutar en cualquier plataforma sin tener que reescribir el código.

Básicamente J2EE consiste en lo siguiente:

- Guías de diseño para desarrollo de aplicaciones empresariales utilizando JEE.
- Una implementación de referencia para dar una vista operacional de JEE.
- Un conjunto de pruebas de compatibilidad para el uso de 3ras partes para asegurar que sus productos cumplen con los estándares J2EE.
- Varias APIs (*Application Programming Interfaces*) para permitir acceso genérico a los recursos y la infraestructura.
- Tecnologías para simplificar el desarrollo empresarial con Java.

## **21.6. Anexo VI - Desarrollo J2EE con Frameworks**

Los *Frameworks* son diseñados con la intención de facilitar el desarrollo de software, permitiendo a los diseñadores y programadores pasar más tiempo identificando requerimientos de software que tratando con los detalles de la programación un sistema funcional.

Sin embargo, hay quejas comunes acerca de que el uso de *frameworks* añade código innecesario y que la preponderancia de *frameworks* competitivos y complementarios significa que el tiempo que se pasaba programando y diseñando ahora se gasta en aprender a usar *frameworks*.

### **21.6.1. Modelo Vista Controlador**

Hay varios modelos que pueden ser utilizados mediante un *framework*. Dentro de los útiles para el proyecto podemos destacar el modelo MVC (Controlador, Modelo, Vista) que es uno de los patrones más usados en la construcción de aplicaciones Web.

El **modelo** es el responsable de:

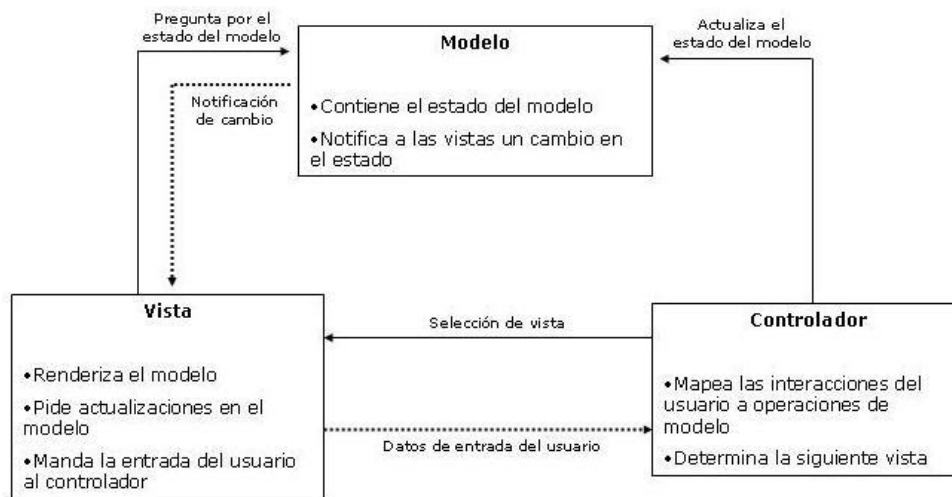
- Acceder a la capa de almacenamiento de datos. Lo ideal es que el modelo sea independiente del sistema de almacenamiento.
- Define las reglas de negocio (la funcionalidad del sistema).
- Lleva un registro de las vistas y controladores del sistema.
- Si estamos ante un modelo activo, notificará a las vistas los cambios que en los datos pueda producir un agente externo

El **controlador** es responsable de:

- Recibir los eventos de entrada
- Contiene reglas de gestión de eventos, del tipo "Si Evento Z, entonces Acción W". Estas acciones pueden suponer peticiones al modelo o a las vistas.

Las **vistas** son responsables de:

- Recibir datos del modelo y los mostrarlos al usuario.
- Tienen un registro de su controlador asociado
- Manejar toda la capa de interfaz y las pantallas mostradas a los usuarios



**Ilustración 112: Modelo Vista Controlador**

### 21.6.2. Struts

Evidentemente, como todo *framework* intenta simplificar notablemente la implementación de una arquitectura según el patrón MVC. El mismo separa muy bien lo que es la gestión del *workflow* de la aplicación, del modelo de objetos de negocio y de la generación de interfaz.

El Framework *Struts* tiene las siguientes componentes:

- **Config XML:** Configuración del controlador central. Aquí esta definidas las redirecciones, el uso de formularios y acciones y las vistas que se deben mostrar.
- **Controller:** Es la encargada de administrar las redirecciones, el uso de formularios y acciones y las vistas que se deben mostrar.
- **ActionForms:** Definición de los formularios. Estos se Crean para recuperar y mostrar información directamente en la páginas web.
- **Actions:** Aquí están definidas las acciones o los procesos de negocios propiamente tal que debe cumplir el sistema.

- JevaBeans: Son la forma de interactuar con los datos del sistema.
- Java Servlet Pages (JSP): son las encargadas de formar las vista y el código HTML que finalmente será mostrada en pantalla.

Las interacciones componentes anteriormente descritas se pueden ver en la

Ilustración 113

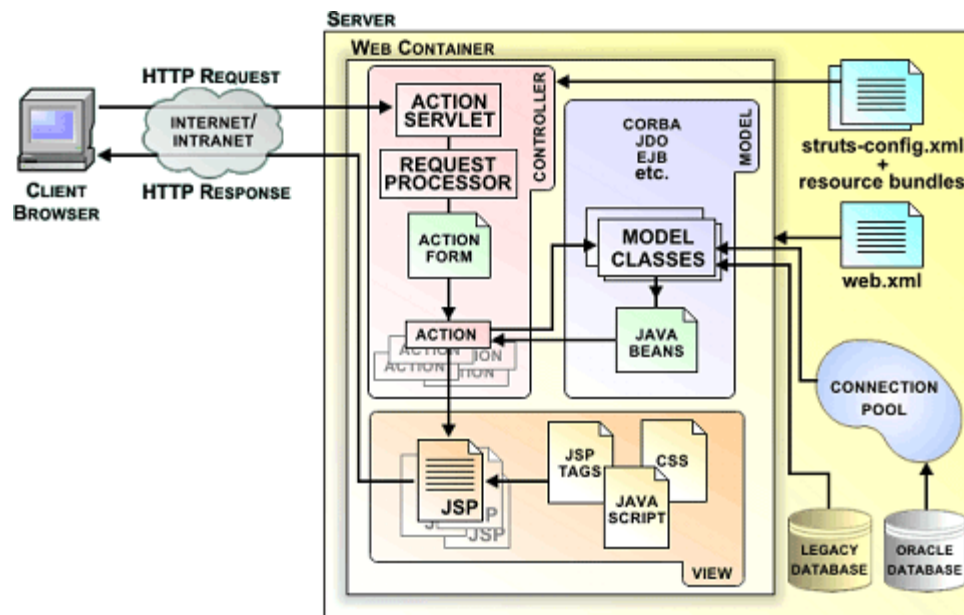


Ilustración 113: Interacciones de componentes en Struts



## **21.7. Anexo VII – Evaluación del Proyecto para el proyecto piloto**

Tal como fue mencionado en el análisis económico, para el caso del proyecto piloto, se evaluaron los costos en los que se incurren en la implementación del proyecto en el Hospital Luis Calvo Mackenna. Dado que éste busca optimizar la situación actual, el estudio económico toma en consideración los costos oportunidad del personal del hospital para lograr incorporar esta herramienta en su rutina diaria, es decir, la gestión del cambio y posterior capacitación del personal.

Asimismo, el horizonte de evaluación corresponde otro factor importante a considerar. Para el caso del proyecto en el HLCM se tomará como punto de inicio del proyecto la implementación y posterior capacitación del personal para la utilización del apoyo computacional. Este punto de partida se plantea dado que todo el análisis inicial de obtención de datos y generación de la herramienta es un costo hundido para el HLCM y por que fue realizado como parte de una tesis de magister.

Por lo tanto, adicional a los costos oportunidad mencionados en la implementación por parte del hospital es importante incluir el tiempo invertido por los ingenieros de procesos para llevar a cabo la gestión del cambio y capacitación. A continuación, se detallarán los costos del proyecto separados por actividades.

- **RRHH**
  - 2 Ing. de Negocios Tesistas: Estos trabajando a tiempo completo por 4 meses para llevar a cabo la gestión del cambio y capacitación del hospital a un costo de \$650.000 mensual, dando un total de \$5.200.000.
- **Costos Oportunidad – Implementación**
  - Capacitación

- Equipo EPH: La capacitación de la persona del EPH encargada de conocer la herramienta constó de 4 horas a un costo de \$10.000 por hora por lo que tiene un costo total de 40.000\$.
  - Coordinación: La capacitación de las dos personas de coordinación para la utilización de la herramienta fue de 6 horas, un costo de \$10.000 por hora, llegando a un total de 120.000 \$.
  - Médicos: los médicos también recibieron una pequeña capacitación y muestra de resultados obtenidos. Se realizaron 4 reuniones de 3 horas cada una con tres médicos por capacitación, llegando a un total de 480.000\$.
  - Jefe de Urgencia: la capacitación del jefe de urgencia en conjunto con el personal médico fue de 12 horas hombre evaluadas en \$15.000, llegando a un total de \$180.000 .
- Utilización de la herramienta
  - Jefe Planificación: 1 vez al mes el planificado debe gastar 1 hora de su jornada mensual en la aplicación para evaluar distintos escenarios. Este costo fue estimado como \$20.000 mensuales durante todo el horizonte del proyecto.
- Policlínico Docente
  - Médico Profesor: el policlínico docente constará de un médico profesor por los 5 días hábiles de la semana. Sin embargo, el costo de este médico se considera costo hundido dado que únicamente se estaría cambiando el lugar físico de clases, es decir, el médico imparte las clases con y sin proyecto.
  - Alumnos Medicina: los alumnos de medicina presentes en el policlínico son 2, consideraremos su costo oportunidad de trabajar en otro lugar a un valor de \$5.000 la hora por las 30 horas mensuales da un total de: \$300.000 al mes.

El costo del equipo planificador y el policlínico docente corresponden a costo en los años posteriores a la implementación del proyecto.

Resumiendo toda la información anterior el costo de implementación sería el siguiente y corresponde a los primeros tres meses del año cero del proyecto.

<b>RRHH</b>	<b>Valor (\$)</b>
• Ingenieros	5.200.000
<b>Costo Oportunidad</b>	
• EPH	40.000
• Médicos	480.000
• Jefe Urgencia	180.000
• Jefe Planificación	240.000
<b>Total</b>	<b>6.140.000</b>

**Tabla 48: Resumen Costo de Implementación**

Asimismo, los costos después de la implementación del proyecto y para su funcionamiento en años posteriores son los mostrados en la siguiente tabla de costo oportunidad:

<b>Costo Oportunidad</b>	<b>Valor (\$)</b>
• Jefe Planificación	120.000
• Estudiantes Medicina	300.000
<b>Total</b>	<b>420.000</b>

**Tabla 49: Resumen Costos Anuales después de la Implementación**

## **21.8. Construcción del Flujo de Caja**

Finalmente construyendo el flujo de caja tomando en cuenta las mismas consideraciones anteriores y una tasa de descuento del 6% y una disminución estimada en el tiempo promedio de espera por paciente de 10 minutos se tiene:

PERIODO	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
<i>Pacientes atendidos</i>		74950	71948	68946
<i>minutos por paciente</i>		10	10	10
<i>horas ahorradas</i>		12.492	11.991	11.491
<i>precio hora</i>	0	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00
Beneficio Social	\$ 0	\$ 12.491.667	\$ 11.991.333	\$ 11.491.000
Costos Fijos		-\$ 420.000	-\$ 420.000	-\$ 420.000
<b>FLUJO DE CAJA OPERACIONAL</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 12.071.667</b>	<b>\$ 11.571.333</b>	<b>\$ 11.071.000</b>
Capital de Trabajo	-\$ 6.140.000			
<b>FLUJO DE CAJA DE CAPITAL</b>	<b>-\$ 6.140.000</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>
Total	-\$ 6.140.000	\$ 12.071.667	\$ 11.571.333	\$ 11.071.000

VAN (6 %) \$ 24.842.235

TIR 185,0%

**Tabla 50: Flujo de Caja**

Si bien este primer análisis indica que el proyecto tiene rentabilidad positiva con el VAN al 6%, no es suficiente para determinar si conviene o no invertir en el proyecto, para esto se debe tener un estudio más fino de la variables relevantes que participan en el flujo de caja por lo que en el capítulo siguiente se hizo un análisis de sensibilidad para ver la robustez de la solución.

## 21.9. Análisis de Sensibilidad

Aquí se determino cual será la rentabilidad del proyecto en función del la reducción en el tiempo de espera de los pacientes. El punto de corte para convertir en VAN en positivo es de 2,3 minutos. En la siguiente gráfica se construyó la rentabilidad en millones de pesos según el tiempo de ahorro promedio de espera.

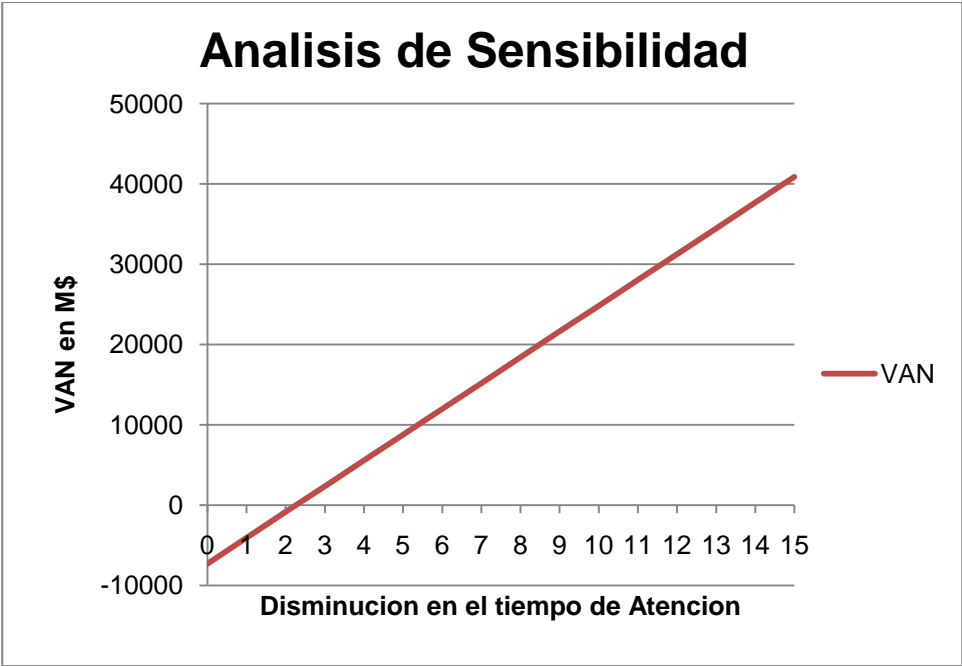


Ilustración 114: Análisis de Sensibilidad

## 21.10. Anexo VIII – Implementación algoritmo de análisis de demanda en ZIMPL

```
set A := { read "datos.csv" as "<1s>" skip 1 comment "#" };
set D := { read "datos.csv" as "<2s>" skip 1 comment "#" };
set C := { read "datos.csv" as "<3s>" skip 1 comment "#" };
set T := { read "datos.csv" as "<4s>" skip 1 comment "#" };
set ADCT := A*D*C*T ;
set ADT := A*D*T ;
set CA := C*A;
param Demanda [ADCT] := read "datos.csv" as "<1s,2s,3s,4s>
5n" skip 1 comment "#" ;

param Minimo[ADT] := 1;

param Minutos[CA] := |"Medicina","Cirugia"|
|"c1"|120,120|
|"c2"|60,60|
|"c3"|15,15|
|"c4"|10,10|;

param Personal[CA]:= |"Medicina","Cirugia"|
|"c1"|2,2|
|"c2"|1,1|
|"c3"|1,1|
|"c4"|1,1|;

param Minturno[T] := <"1"> 720 ,<"2"> 720; #turno de 12 horas
param Minadministrativo[T] := <"1"> 135 ,<"2"> 135; #15 min
por cada 2 horas + 45 min de almuerzo

defnumb Mindisponible(t):= Minturno[t]-Minadministrativo[t];

#variables
var Y[ADT] integer >=0 ;

#funcion Objetivo
minimize personal: sum<a,d,t> in ADT : Y[a,d,t];

#sujeto a
#respetar minimo de trabajadores
subto minimo:
forall <a,d,t> in ADT do
Y[a,d,t] >= Minimo[a,d,t];
```

```
#satisfacer demanda
subto demanda:
forall <a,d,t> in ADT do
Y[a,d,t]>=(sum <c> in C :
Demanda[a,d,c,t]*Personal[c,a]*Minutos[c,a])/Mindisponible(t);
```