



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**DISEÑO DEL PROCESO DE MONITOREO A DISTANCIA Y DE PREDICCIÓN DEL
RIESGO DE CRISIS EN PACIENTES CON HOSPITALIZACIÓN AMBULATORIA
DOMICILIARIA, HOSPITAL EXEQUIEL GONZÁLEZ CORTÉS**

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN INGENIERÍA
DE NEGOCIOS CON TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL´

MATÍAS ALEJANDRO ECHEVERRÍA URRIOLA

PROFESOR GUÍA:

ÁNGEL JIMÉNEZ MOLINA

PROFESOR CO-GUÍA:

SEBASTIÁN RÍOS PÉREZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

PATRICIO WOLFF ROJAS

BEGOÑA YARZA SÁEZ

SANTIAGO DE CHILE

2015

RESUMEN DEL PROYECTO DE GRADO
PARA OPTAR AL GRADO DE: MAGISTER EN
INGENIERÍA DE NEGOCIOS CON TI.
POR: MATÍAS ECHEVERRÍA U.
FECHA: 26-05-2015.
PROF. GUÍA: SR. ÁNGEL JIMÉNEZ

DISEÑO DEL PROCESO DE MONITOREO A DISTANCIA Y DE PREDICCIÓN DEL RIESGO DE CRISIS EN PACIENTES CON HOSPITALIZACIÓN AMBULATORIA DOMICILIARIA, HOSPITAL EXEQUIEL GONZÁLEZ CORTÉS

Actualmente, los principales desafíos que enfrenta la salud pública en Chile son: la disminución de las desigualdades en salud, proveer de servicios acordes con las expectativas de la población y mejorar los logros sanitarios alcanzados. En la mayoría de los casos la infraestructura sanitaria del sistema público de salud no permite dar cumplimiento a los objetivos planteados, evidenciando permanentes dificultades para dar atención oportuna y de calidad a los usuarios. Para hacer frente a este escenario existen técnicas como la “hospitalización domiciliaria” que genera ventajas para el sistema de salud y, en la mayoría de los casos, para pacientes y familiares.

El proyecto es realizado en el Hospital Exequiel González Cortés (HEGC) o popularmente conocido como “*El Exequiel*”, el cual es un centro asistencial pediátrico perteneciente al sistema público de salud de Chile, ubicado en la comuna de San Miguel en Santiago de Chile.

La principal motivación de realizar el proyecto es la de generar una condición favorable en aquellos pacientes que actualmente se encuentran hospitalizados en sus domicilios. El proyecto tiene como objetivo re-diseñar todos los procesos asociados al monitoreo remoto de la condición de salud del paciente, y en conjunto con esto, establecer todos los mecanismos preventivos que facilitarán una correcta coordinación entre los profesionales médicos para atender a los pacientes de manera oportuna.

Utilizando como base modelos de inteligencia artificial estructurados con lógica difusa, se diseñó un modelo que emula el razonamiento experto del médico usando variables como signos vitales y edad del paciente. El modelo fue evaluado con datos de *triage* y validado contra otros modelos convencionales de predicción, mostrando una buena precisión y sensibilidad para discriminar entre distintos niveles de riesgo.

Desde el punto de vista económico, el proyecto es evaluado económicamente como un proyecto privado, pero desde la perspectiva del estado, es decir, se visualizan aquellos ahorros en los que incurre el estado con el proyecto. El impacto del proyecto fue medido principalmente en la disminución de hospitalizaciones no programadas y en el ahorro de HH de profesionales de salud. Con lo anterior se estima que el proyecto es rentable, entregando un VAN de \$ 52.334.990, y una TIR de un 52%.

*A mis padres, Mónica y Alejandro,
gracias por el apoyo constante y
por todo lo que me han entregado
para afrontar todo desafío en mi vida.*

Agradecimientos

Primero que todo, agradecer a mis padres por entregarme todas las oportunidades posibles para desarrollarme personal y profesionalmente. Gracias por la formación que me entregaron durante toda mi vida y por las palabras de ánimo durante este proceso. A mi hermana Fernanda, por su preocupación y compañía durante todos estos años.

A mis grandes amigos de la universidad, por su amistad dentro y fuera de la sala de clases. A los compañeros que conocí en este proceso, de los cuales rescato grandes amistades.

A mis profesores guías, Ángel y Sebastián, por su constante apoyo en todo momento y por confiar en mis capacidades para no solo cumplir con las metas del magister, sino que para desarrollar un proyecto de alto impacto científico. Asimismo, agradecer a la Sra. Ana María Valenzuela y Sra. Laura Sáez, por su constante apoyo en todo el proceso.

A mi tutor Patricio Wolff, el cual estuvo siempre para guiarme. Gracias por todo su apoyo y consejos en momentos difíciles.

Al personal del Hospital Exequiel González Cortés, los cuales me ayudaron en todo momento, fueron un apoyo incondicional en el cumplimiento de esta gran meta. En particular, a la enfermera gestora de camas Francisca Molina, gracias por la confianza y palabras de ánimo. A la Dra. Rebeca Paiva, gracias por su entrega en este proyecto. A la directora del Hospital Dra. Begoña Yarza, gracias por la esperanza y convicción que siempre tuvo en el proyecto.

A Katrina Lolas, interna de medicina, que en su momento fue un apoyo muy importante en la realización de este proyecto, gracias por su dedicación y compromiso.

Tabla de Contenido

1. Introducción	12
2. Antecedentes del Sector Salud.....	14
2.1. Sistema de Salud	14
2.2. Sistema Nacional de Servicios de Salud (SNSS).....	15
2.3. Servicio de Salud Metropolitano Sur (SSMS).....	16
3. Contexto del Problema	18
3.1. Tendencias en el Sector Público de Salud.....	18
3.2. Patologías Crónicas y Enfermedades Respiratorias	21
3.3. Motivación del Proyecto	25
4. Marco Teórico Conceptual.....	27
4.1. Metodología de Ingeniería de Negocios.....	27
4.2. Notación de Modelamiento de Procesos de Negocio.....	29
4.2.1. IDEF0	29
4.2.2. BPMN	29
4.3. Minería de Datos.....	30
4.4. Arquitectura Orientada a Servicios.....	35
5. Trabajo Relacionado.....	37
5.1. Sistemas de Monitoreo Remoto	37
5.2. Modelos de Predicción	39
6. La Organización.....	41
6.1. Historia	42
6.2. Estructura.....	42
6.3. Planteamiento Estratégico	44
6.3.1. Balance ScoreCard HEGC	45
6.3.2. Posicionamiento Estratégico HEGC según Hax	47
6.4. Modelo de Negocio	48
6.4.1. Creación de Valor	48
6.4.2. Formula de Beneficios	49
6.4.3. Procesos Claves.....	49
6.4.4. Recursos Claves.....	50
7. Definición del Proyecto	51
7.1. Descripción General.....	51
7.2. Objetivos	51
7.2.1. Objetivo General.....	51
7.2.2. Objetivos Específicos	52
7.3. Alcance	53
7.4. Resultados Esperados	54

7.5.	Dirección de Cambio	54
7.5.1.	Estructura de Mercado y Empresa	56
7.5.2.	Anticipación	57
7.5.3.	Coordinación.....	58
7.5.4.	Prácticas de Trabajo.....	59
7.5.5.	Integración de Procesos Conexos	60
7.5.6.	Mantenimiento Consolidado de Estado	61
8.	Arquitectura de Procesos Atención Cerrada Domiciliaria	62
8.1.	Arquitectura de Macro-Procesos de un Hospital	62
8.2.	Re-Diseño de Procesos	65
8.2.1.	Atención Cerrada Domiciliaria	66
9.	Lógica Compleja de Negocios	83
9.1.	Caracterización de Pacientes.....	83
9.1.1.	Análisis Descriptivo por Grupo Etario	83
9.1.2.	Analizar Patologías.....	87
9.2.	Desarrollo de Modelo Predictivo	90
9.2.1.	Generar Rangos Referenciales	90
9.2.2.	Establecer Regla de Puntajes.....	91
9.2.3.	Generar Modelo.....	93
9.2.4.	Simular Variables.....	97
9.2.5.	Validación Modelo	99
9.3.	Envío de Notificaciones.....	100
10.	Apoyo Computacional.....	102
10.1.	Framework Sistema de Apoyo Computacional	102
10.1.1.	Componentes Framework	102
10.1.2.	Arquitectura REST	105
10.1.3.	Sistema de Notificaciones GCM.....	106
10.2.	Diseño de Sistemas de Apoyo	107
10.2.1.	Diagrama de Caso de Uso	107
10.2.2.	Diagrama de Secuencia de Sistema	111
10.2.3.	Diagrama de Secuencia Extendido	115
10.2.4.	Diagrama de Clases.....	123
10.2.5.	Diagrama de Paquetes.....	128
10.2.6.	Diagrama de Datos	129
11.	Construcción del Prototipo.....	131
11.1.	Aplicación Web	131

11.1.1.	Información General de Pacientes	131
11.1.2.	Información del Paciente	132
11.1.3.	Información Indicadores de Salud	133
11.1.4.	Modificar/Ingresar Indicadores	135
11.2.	Aplicación Móvil	136
11.2.1.	Gestión de Alertas	136
11.2.2.	Gestión de Pacientes	139
12.	Gestión del Cambio	142
12.1.	Contexto Organizacional	142
12.2.	Factores Críticos de Éxito	142
12.3.	Estrategia para la Gestión del Cambio.....	143
12.3.1.	Sentido de Urgencia.....	143
12.3.2.	Coalición Conductora	143
12.3.3.	Gestión de Narrativas.....	144
12.3.4.	Cambio y Conservación	144
12.3.5.	Evaluación y Cierre del Proceso de Cambio	145
13.	Resultados.....	146
13.1.	Metodología	146
13.1.1.	Modelo Predictivo.....	146
13.1.2.	Apoyo Computacional	147
13.2.	Resultados Modelo Predictivo	148
13.2.1.	Resultados Considerando Dos Niveles de Riesgo	150
13.2.2.	Resultados Considerando Tres Niveles de Riesgo	152
13.3.	Resultados Usabilidad Aplicación Móvil.....	156
14.	Análisis Económico.....	159
14.1.	Análisis de Variables Relevantes	159
14.2.	Evaluación Económica.....	160
14.2.1.	Inversión.....	160
14.2.2.	Costos Operacionales	162
14.2.3.	Ingresos Operacionales.....	163
14.2.4.	Flujo de Caja	165
14.3.	Análisis de Sensibilidad.....	166
14.3.1.	Sensibilidad sobre Tasa de Reducción de Visitas de Enfermeras	166
14.3.2.	Sensibilidad sobre Tasa de Reducción de Hospitalizaciones no Programadas	167
15.	Generalización de la Experiencia	169
15.1.	Definición del Dominio.....	170

15.2. Lógica de Negocios Genérica	171
15.2.1. Segmentación de Pacientes.....	171
15.2.2. Modelo Predictivo.....	172
15.2.3. Generación de Alertas Preventivas	173
15.3. Diagrama de Clases del <i>Framework</i>	174
16. Conclusiones	175
16.1. Procesos de Monitoreo Remoto	175
16.2. Algoritmos de Predicción.....	175
16.3. Trabajo Futuro.....	176
Bibliografía	178
Anexos	181
Anexo A: Notación BPMN para Modelamiento de Procesos.....	181
Anexo B: Algoritmo Modelo IA	184
Anexo C: Algoritmo de Simulación de Variables.....	188
Anexo D: Modelos Logit y Árbol de Decisión Generados.....	191
Anexo D.1. Modelos Logit y Árbol de Decisión para Dos Niveles de Riesgo.....	191
Anexo D.2. Modelo Árbol de Decisión para Tres Niveles de Riesgo	192
Anexo E: Resultados Modelos Predictivos por Grupo Etario	193
Anexo F: Encuesta para Usabilidad de Aplicación Móvil	197

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Comunas del Servicio de Salud Metropolitano Sur	16
Ilustración 2: Índice de Satisfacción Global por Tipo de Atención	20
Ilustración 3: Índice de Satisfacción Atención Ambulatoria	20
Ilustración 4: Índice de Satisfacción Atención Hospitalaria	21
Ilustración 5: Tasa de Muertes Enfermedades Crónicas Período 2000 – 2012.....	22
Ilustración 6: Proporción de Mortalidad por Tipo de Enfermedad Período 2012	23
Ilustración 7: Metodología de Ingeniería de Negocios.....	27
Ilustración 8: Gráficas de Caja y Flechas IDEF0	29
Ilustración 9: Proceso KDD	31
Ilustración 10: Funciones de Membresía para la Temperatura	33
Ilustración 11: Ejemplo Solicitud Servicio Web.....	35
Ilustración 12: Dotación HEGC.....	41
Ilustración 13: Dirección HEGC.....	42
Ilustración 14: Estructura Sub-Dirección Médica.....	43
Ilustración 15: Estructura Sub-Dirección Gestión del Cuidado y Sub-Dirección Médica	43
Ilustración 16: Balance ScoreCard HEGC.....	46
Ilustración 17: Modelo Delta para Organizaciones Sin Fines de Lucro	47
Ilustración 18: Modelo de Negocio HEGC	50
Ilustración 19: Proyecto Monitoreo Domiciliario Fondef	53

Ilustración 20: Estructura Macro-Procesos Hospitales	62
Ilustración 21: Líneas de Servicios al Paciente	64
Ilustración 22: Atención Cerrada Domiciliaria	66
Ilustración 23: Gestión de Producción Domiciliaria	68
Ilustración 24: Análisis del Comportamiento del Paciente	70
Ilustración 25: Caracterización de Pacientes	71
Ilustración 26: Mantención Modelo Predictivo	72
Ilustración 27: Planificación del Tratamiento Domiciliario	74
Ilustración 28: Ingreso y Evaluación de Patología	75
Ilustración 29: Programar Tratamiento	76
Ilustración 30: Monitoreo del Tratamiento Domiciliario	77
Ilustración 31: Producción y Entrega de Servicio Domiciliario	78
Ilustración 32: Control del Sistema	80
Ilustración 33: Control Sistema Caso Indicador No Transmitido	81
Ilustración 34: Protocolo Preventivo	82
Ilustración 35: Temperatura por Grupo Etario	85
Ilustración 36: Frecuencia Cardíaca por Grupo Etario	86
Ilustración 37: Frecuencia Respiratoria por Grupo Etario	87
Ilustración 38: Saturación de Oxígeno por Grupo Patología en Segmento Etario 3	88
Ilustración 39: Frecuencia Cardíaca por Grupo Patología en Segmento Etario 3	88
Ilustración 40: Frecuencia Respiratoria por Grupo Patología en Segmento Etario 3	89
Ilustración 41: Desarrollo de Modelo Predictivo	90
Ilustración 42: Secuencia Validación Modelo	99
Ilustración 43: Lógica Genérica Alertas Graves	100
Ilustración 44: Secuencia de Estados para Alertas Emitidas	101
Ilustración 45: Framework Sistema Atención Domiciliaria	104
Ilustración 46: Interacción Cliente Servidor REST	105
Ilustración 47: Funcionamiento Google Cloud Messaging	106
Ilustración 48: Caso de Uso: Programar Tratamiento	108
Ilustración 49: Caso de Uso: Control del Sistema	109
Ilustración 50: Caso de Uso: Gestión de Pacientes	110
Ilustración 51: Caso de Uso: Gestión de Alertas	110
Ilustración 52: Diagrama de Secuencia de Sistema: Programar Tratamiento	111
Ilustración 53: Diagrama de Secuencia de Sistema: Control del Sistema	113
Ilustración 54: Diagrama Secuencia de Sistema: Gestión de Pacientes	114
Ilustración 55: Diagrama de Secuencia de Sistema: Gestión de Alertas	115
Ilustración 56: Diagrama de Secuencia Extendido: Programar Tratamiento	117
Ilustración 57: Diagrama de Secuencia Extendido: Control del Sistema - Transmisión Correcta de Datos	118
Ilustración 58: Diagrama de Secuencia Extendido: Control del Sistema - Transmisión Incorrecta de Datos	119
Ilustración 59: Diagrama de Secuencia Extendido: Control del Sistema - Verificación de Alerta	120
Ilustración 60: Diagrama de Secuencia Extendido: Gestión de Pacientes	121
Ilustración 61: Diagrama de Secuencia Extendido: Gestión de Alertas	123
Ilustración 62: Diagrama de Clases: Programar Tratamiento	124
Ilustración 63: Diagrama de Clases: Control del Sistema	125
Ilustración 64: Diagrama de Clases: Gestión de Pacientes	127

Ilustración 65: Diagrama de Clases: Gestión de Alertas	128
Ilustración 66: Diagrama de Paquetes	129
Ilustración 67: Diagrama de Datos – Modelo Entidad Relación	130
Ilustración 68: Aplicación Web - Lista de Pacientes	132
Ilustración 69: Aplicación Web - Información del Paciente	133
Ilustración 70: Aplicación Web - Información Indicadores	134
Ilustración 71: Aplicación Web - Información Indicadores: Análisis Temporal	135
Ilustración 72: Aplicación Web - Modificar/Ingresar Indicadores	136
Ilustración 73: Aplicación Móvil - Gestión de Alertas	137
Ilustración 74: Aplicación Web - Detalle Alerta 1.0	138
Ilustración 75: Aplicación Web - Detalle Alerta 2.0	138
Ilustración 76: Aplicación Móvil - Confirmación Alerta	139
Ilustración 77: Aplicación Móvil - Gestión de Pacientes	140
Ilustración 78: Aplicación Móvil - Detalle Paciente	140
Ilustración 79: Aplicación Móvil - Análisis Temporal	141
Ilustración 80: Paradigmas en el Dominio de e-Health.....	170
Ilustración 81: Lógica Genérica Monitoreo Remoto de Pacientes	171
Ilustración 82: Lógica Genérica Segmentación de Pacientes	171
Ilustración 83: Lógica Genérica Modelo Predictivo	172
Ilustración 84: Lógica Genérica Generación de Alertas Preventivas	173
Ilustración 85: Diagrama de Clases Framework Generalización	174
Ilustración 86: Actividades Notación BPMN	181
Ilustración 87: Compuertas en Notación BPMN	182
Ilustración 88: Contenedores Notación BPMN	182
Ilustración 89: Eventos Notación BPMN.....	183

Índice de Tablas

Tabla 1: Hospitales del SSMS.....	17
Tabla 2: Ejemplo de Matriz Difusa.....	34
Tabla 3: Dirección de Cambio Variable Estructura de Mercado y Empresa	56
Tabla 4: Dirección de Cambio Variable Anticipación.....	57
Tabla 5: Dirección de Cambio Variable Coordinación.....	58
Tabla 6: Dirección de Cambio Variable Prácticas de Trabajo	59
Tabla 7: Dirección de Cambio Variable Integración de Procesos Conexos	60
Tabla 8: Dirección de Cambio Variable Mantenimiento Consolidado de Estado.....	61
Tabla 9: Tolerancia Tiempo Indicador No Transmitido.....	81
Tabla 10: Rangos Referenciales Frecuencia Respiratoria	90
Tabla 11: Rangos Referenciales Frecuencia Respiratoria	91
Tabla 12: Tabla de Puntajes Desviaciones Indicadores de Salud.....	91
Tabla 13: Mapeo Niveles de Riesgo Indicadores de Salud	93
Tabla 14: Correlaciones Variables Relevantes	97
Tabla 15: Tiempos de Tolerancia por Estado y Riesgo	101
Tabla 16: Narrativas Principales Actores Involucrados	144
Tabla 17: Distribución Datos Utilizados	148
Tabla 18: Resultados Modelo IA para 2 Niveles de Riesgo	150

Tabla 19: Resultados Modelo <i>Logit</i> para 2 Niveles de Riesgo	150
Tabla 20: Resultados Modelo <i>Árbol de Decisión</i> para 2 Niveles de Riesgo	151
Tabla 21: Modelo IA por Grupo Etario - 2 Niveles de Riesgo	151
Tabla 22: Resultados Modelo IA para 3 Niveles de Riesgo	152
Tabla 23: Resultados Modelo <i>Árbol de Decisión</i> para 3 Niveles de Riesgo	153
Tabla 24: Análisis Conjunto Modelos Evaluados	154
Tabla 25: Resultados Usabilidad Aplicación Móvil	156
Tabla 26: Intervalo Confianza Ítems Evaluados	157
Tabla 27: Inversión del Proyecto	161
Tabla 28: Costos Operacionales Año 1	162
Tabla 29: Costos Operacionales Año 2-5.....	163
Tabla 30: Beneficios Esperados del Proyecto	163
Tabla 31: Ingresos Operacionales por Concepto de Ahorros.....	165
Tabla 32: Flujo de Caja del Proyecto a 5 años.....	166
Tabla 33: Modelo <i>Logit</i> por Grupo Etario - 2 Niveles de Riesgo	193
Tabla 34: Modelo <i>Árbol de Decisión</i> por Grupo Etario - 2 Niveles de Riesgo	194
Tabla 35: Modelo IA por Grupo Etario - 3 Niveles de Riesgo	195
Tabla 36: Modelo <i>Árbol de Decisión</i> por Grupo Etario - 3 Niveles de Riesgo	196

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Dotación de Camas al 31 de Diciembre a Nivel Nacional Período 1999 – 2009	18
Gráfico 2: Índice Ocupacional Camas Hospitalarias Período 1999 – 2012	19
Gráfico 3: Defunciones Enfermedades Respiratorias Período 2000 - 2011	24
Gráfico 4: Egresos Hospitalarios Período 2006 – 2011.....	25
Gráfico 5: Funciones de Membresía	95
Gráfico 6: Resultados por Nivel de Riesgo Modelo IA	149
Gráfico 7: Composición Encuestados Aplicación Móvil	156
Gráfico 8: Sensibilidad de VAN y TIR sobre Reducción de Visitas de Enfermeras	167
Gráfico 9: Sensibilidad de VAN y TIR sobre Disminución Tasa de Hospitalización	168

1. Introducción

El presente trabajo propone un re-diseño de los procesos asociados a la atención cerrada domiciliaria del Hospital Exequiel González Cortés (HEGC). El principal foco del proyecto está en la creación de modelos analíticos que usando como base algoritmos de inteligencia artificial, buscan predecir el riesgo de una crisis de alta gravedad, en pacientes que actualmente se encuentran hospitalizados en sus domicilios de forma ambulatoria. Y en conjunto con lo anterior, el diseño de todas aquellas actividades necesarias para llevar a cabo un efectivo control preventivo de la salud del paciente.

El sistema de salud pública de Chile atiende a más del 70% de la población chilena. Este sistema está dividido en sectores a lo largo de todo el país por espacio territorial. El proyecto estará enfocado en el Servicio de Salud Metropolitano Sur (SSMS), y dentro de él, el Hospital Exequiel González Cortés.

El documento en un principio explica cómo funciona el sistema de salud público en Chile, el rol que cumplen sus principales instituciones, y la estructura del Sistema Nacional de Servicios de Salud (SNSS). Luego se explica el funcionamiento y los objetivos estratégicos planteados por el SSMS, el HEGC y el Ministerio de Salud.

Posteriormente, se fundamentará el problema que actualmente existe en la salud chilena para justificar el proyecto en el HEGC, esto en base a indicadores propios del sistema hospitalario, y el contexto actual de los pacientes con ventilación mecánica asistida y de aquellos pacientes que presentan patologías crónicas con consecuencias en el aparato respiratorio.

Luego, se analizará el trabajo ya realizado en el contexto de sistemas de monitoreo remoto de la salud de pacientes, y algoritmos de predicción del riesgo de salud. En el capítulo posterior se fundamenta el planteamiento estratégico del HEGC basado en el modelo delta propuesto por HAX.

Después, se explica el modelo de negocios del HEGC, fundamentando el objetivo general y objetivos específicos del proyecto. Para posteriormente realizar el re-diseño propuesto, estableciendo los flujos de información y reglas de negocio dentro de la cadena de valor de hospitalización domiciliaria.

En los capítulos siguientes se analizará en detalle todas las lógicas complejas asociadas al proyecto. En particular, se explicará el funcionamiento del modelo predictivo y la metodología utilizada para su entrenamiento y conformación.

Posteriormente, se detallarán todos aquellos apoyos computacionales en los que se requiere una interacción entre los usuarios y el sistema. Se realizará una

diagramación desde una capa más general hasta un modelamiento más específico y riguroso de las principales lógicas del proyecto.

En el capítulo posterior se analiza el proyecto desde un punto de vista de gestión del cambio, y serán analizados los principales resultados del trabajo realizado, evaluando la capacidad de predicción del modelo propuesto y la robustez de este para discriminar entre distintos niveles de riesgo. En esta misma línea, se validarán los apoyos computacionales diseñados mediante un estudio de usabilidad, en el cual se contó con la participación de profesionales de salud de varias especialidades del hospital.

Finalmente, se describe el *framework* que generaliza la experiencia realizada, permitiendo extender el problema hacia otros dominios mediante una lógica genérica, para luego finalizar el informe resumiendo las principales conclusiones de esta experiencia, y los posibles trabajos futuros que se avecinan para continuar con esta investigación.

2. Antecedentes del Sector Salud

El presente capítulo busca explicar de manera general como es el funcionamiento del sistema de salud en Chile, explicando las principales componentes del Sistema Privado y Sistema Público. Además de lo anterior, se contextualizará el rol del Servicio de Salud Metropolitano Sur (SSMS), dentro del sistema público de salud.

2.1. Sistema de Salud

El sistema de salud Chileno está conformado por el sistema público de salud y el sistema privado. El sistema privado está conformado por las ISAPRE y por productores de salud particulares. Las ISAPRE operan como un sistema de seguros de salud basado en contratos individuales pactados con los asegurados, en el que los beneficios otorgados dependen directamente del monto de la prima cancelada. Dentro de los proveedores privados de salud es posible destacar a los hospitales, clínicas y profesionales independientes que atienden tanto a los asegurados de las ISAPRE como a los cotizantes del sistema público [1].

El sistema público de salud en Chile es liderado por el Ministerio de Salud, el que tiene por tarea el diseño de políticas y programas, la coordinación de las entidades del área, la supervisión, la evaluación y el control de las políticas de salud.

El sector está integrado por instituciones, organismos y entidades pertenecientes al sector público, representado principalmente por FONASA (Fondo Nacional de Salud) en su aspecto financiero y por el SNSS (Sistema Nacional de Servicios de Salud) en su componente de prestación de servicios.

FONASA es el Servicio Público funcionalmente descentralizado, dependiente del Ministerio de Salud para los efectos de super-vigilancia en su funcionamiento, debiendo ajustarse a sus políticas, normas y planes generales. Le compete la función financiera del sistema, siendo la entidad encargada de recaudar, administrar y distribuir los recursos destinados a salud, tanto para la atención de los beneficiarios del sistema estatal en la modalidad institucional - prestada en los centros asistenciales del SNSS - como en la modalidad de libre elección, en la que los beneficiarios tienen la opción de atenderse con proveedores públicos y privados que se han inscrito en FONASA y han convenido aranceles de distinto nivel.

Otros organismos que conforman el sistema público de salud chileno son:

- **Instituto de Salud Pública (ISP).** Servicio público con autonomía de gestión, dotado de personalidad jurídica y de patrimonio propio, dependiendo del Ministerio de Salud para la aprobación de sus políticas, normas y planes generales de actividades, así como en la supervisión de su ejecución.

- **Central de Abastecimiento (CENABAST).** Servicio público dependiente del Ministerio de Salud, encargado de las adquisiciones y distribución de los fármacos, insumos médicos y bienes del sistema de salud público.
- **Superintendencia de Instituciones de Salud Previsional (SISP).** Organismo que tiene como funciones principales supervigilar y controlar a las ISAPRE y al Fondo Nacional de Salud (FONASA), y velar por el cumplimiento de las obligaciones que les imponga la ley, además de fiscalizar a todos los prestadores de salud públicos y privados, respecto de su acreditación y certificación.

2.2. Sistema Nacional de Servicios de Salud (SNSS)

Está compuesto por el Ministerio de Salud y sus organismos dependientes: los Servicios de Salud, el Fondo Nacional de Salud, el Instituto de Salud Pública y la Central de Abastecimiento.

Al Ministerio de Salud le corresponde ejercer la función que le compete al Estado de velar por el desarrollo de la salud nacional y de garantizar el libre e igualitario acceso a las acciones de fomento, protección, recuperación de la salud y de rehabilitación de los enfermos.

Los Servicios de Salud son los responsables de ejecutar las acciones integradas de fomento, protección y recuperación de la salud y rehabilitación de los enfermos y de hacer cumplir las disposiciones del Código Sanitario en las materias que les compete. Son organismos estatales funcionalmente descentralizados, dotados de personalidad jurídica y patrimonio propio para la realización de las referidas acciones. Son 26 Servicios con asignación geográfica definida más el Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente.

Para llevar a cabo sus funciones, el SNSS se ha estructurado en una red asistencial de establecimientos y niveles de atención; éstos últimos organizados de acuerdo a su cobertura y complejidad asistencial [2].

- **Nivel Primario.** Tiene mínima complejidad y amplia cobertura, realiza atenciones de carácter ambulatorio en las Postas Rurales de Salud y en los Consultorios Generales, Urbanos y Rurales. Allí se ejecutan principalmente los Programas Básicos de Salud de las Personas. Para su realización se cuenta con medios simples de apoyo diagnóstico y un arsenal terapéutico determinado y de acuerdo a las prestaciones que se brindan.

- **Nivel Secundario.** Corresponde a una complejidad intermedia y de cobertura media. La característica fundamental de este nivel es que actúa por referencia y que sus acciones involucran tanto atención ambulatoria como de hospitalización en establecimientos hospitalarios, en los cuales la atención ambulatoria se presta en una unidad de apoyo (consultorio adosado) de dicho establecimiento.
- **Nivel Terciario.** Se caracteriza por su alta complejidad y cobertura reducida. Está destinado a resolver aquellos problemas que sobrepasan la capacidad resolutoria de los niveles precedentes, debiendo actuar como centro de referencia no sólo para la derivación de pacientes desde de su propia área de influencia, sino que con frecuencia tal derivación tiene carácter regional, supra-regional y en oportunidades nacional. Al igual que el nivel intermedio, a este nivel le corresponde realizar tanto acciones de tipo ambulatorio, efectuadas en los consultorios adosados de especialidades de estos hospitales, como de atención cerrada en sus diversos servicios de hospitalización.

El SNSS cuenta en todo el país con 197 establecimientos hospitalarios, incluye nueve hospitales delegados. Tiene además un total de 376 consultorios de los cuales 230 son generales urbanos (15 de ellos pertenecen aún al SNSS), 146 son consultorios generales rurales y tiene además 1.102 postas rurales [2].

2.3. Servicio de Salud Metropolitano Sur (SSMS)

Servicio público encargado de administrar la red de establecimientos de salud pública de la zona Sur de Santiago. Es un servicio descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propio, a quien corresponde la administración de los centros de salud y la aplicación de las políticas públicas gubernamentales en materia de salud de las Comunas de San Miguel, Pedro Aguirre Cerda, Lo Espejo, La Cisterna, El Bosque, San Joaquín, La Granja, San Bernardo, Buin, Paine y Calera de Tango.



Ilustración 1: Comunas del Servicio de Salud Metropolitano Sur
Fuente: SSMS [3]

El Servicio de Salud Metropolitano Sur atiende a aproximadamente 1.160.000 habitantes, dentro de los cuales el 70% son beneficiarios inscritos. Existen 31 consultorios de atención primaria, 17 servicios de atención primaria de urgencia y 6 establecimientos hospitalarios.

Hospitales SSMS	Comuna
Hospital Dr. Exequiel González Cortés	San Miguel
Complejo Asistencial Barros Luco	San Miguel
Hospital San Luis de Buin	Buin
Hospital Psiquiátrico	Puente Alto
Hospital Lucio Córdova	San Miguel
Hospital CRS El Pino Camino	San Bernardo

Tabla 1: Hospitales del SSMS
Fuente: SSMS [3]

3. Contexto del Problema

El objetivo del presente capítulo se establece cuáles son los principales desafíos en salud, en el contexto de este proyecto. Se argumenta con antecedentes estadísticos y estudios de investigación la importancia del tratamiento de pacientes con enfermedades crónicas, especialmente aquellos que padecen enfermedades neuromusculares y relacionadas con las vías respiratorias.

Actualmente, los principales desafíos que enfrenta la salud pública en Chile son: la disminución de las desigualdades en salud, proveer de servicios acordes con las expectativas de la población y mejorar los logros sanitarios alcanzados. En la mayoría de los casos la infraestructura sanitaria del sistema público de salud no permite dar cumplimiento a los objetivos planteados, además de esto, el sistema público de salud evidencia permanentes dificultades para dar atención oportuna y de calidad a los usuarios. Ante esto, se baraja la solución de apuntar al traspaso de mayores recursos para aumentar la red de establecimientos, equipamientos y especialistas. Para hacer frente a este escenario existen técnicas como la “hospitalización domiciliaria” que genera ventajas para el sistema de salud y, en la mayoría de los casos, para pacientes y familiares.

Para reflejar lo explicado anteriormente, a continuación se analiza cómo ha evolucionado en el tiempo la dotación de camas hospitalarias, la tasa de ocupación de estas y el nivel de satisfacción usuaria por tipo de atención.

3.1. Tendencias en el Sector Público de Salud

En el año 1999, la dotación de camas a nivel nacional era de aproximadamente 30.600. En la Gráfico 1, es posible ver una clara tendencia hacia una disminución en la dotación de camas en el país, llegando a una dotación menor a 27.000 camas en el año 2009.

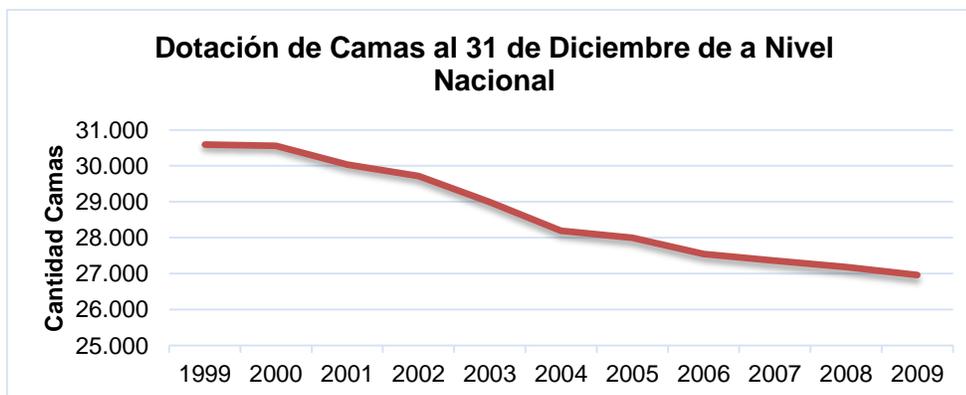


Gráfico 1: Dotación de Camas al 31 de Diciembre a Nivel Nacional Período 1999 – 2009
Fuente: DEIS [4]

Este indicador por sí sólo no revela mucha información, ya que es posible que el país esté utilizando mejor sus recursos hospitalarios. A continuación se muestra el Índice Ocupacional de Camas Hospitalarias a nivel Nacional y a nivel del SSMS (Gráfico 2).

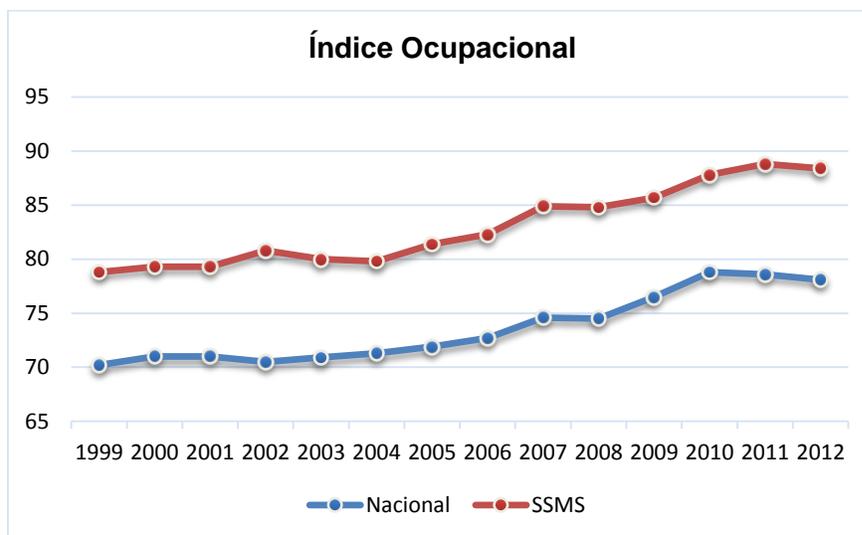


Gráfico 2: Índice Ocupacional Camas Hospitalarias Período 1999 – 2012
Fuente: DEIS [4]

En el año 1999, Chile presentaba a nivel nacional un índice ocupacional cercano al 70% y el Servicio de Salud Metropolitano Sur (SSMS) un índice de 78,8%. En la Ilustración 4, es posible detectar una clara tendencia hacia un mayor nivel de ocupación en las camas hospitalarias, llegando al 2012 a un índice ocupacional de un 78,6% y un 88,8%, a nivel nacional y SSMS respectivamente.

Si este indicador es muy alto es posible que el establecimiento incurra con mayor probabilidad en un rechazo de pacientes por falta de capacidad, y de ser muy bajo, puede indicar una mala utilización de los recursos hospitalarios. De acuerdo a un estudio realizado por el colegio de médicos, “Análisis del Estudio del País: Camas Hospitalarias” [5], establece que el índice óptimo es de aproximadamente un 70%. Para el caso específico de pediatría, estos índices pueden ser en promedio menores, pero durante situaciones epidémicas o estacionales este índice supera el 100%. A partir de esto, es posible identificar claramente que el SSMS presenta índices muy altos, lo que muestra una alta saturación del sistema de salud en ese sector.

La valoración social del sistema de atención en salud depende no sólo de la capacidad resolutoria, la oferta de servicios, calidad técnica de los profesionales, entre otros factores, sino que también de aspectos no “médicos” vinculados a la atención. Entre estos, la relación entre usuarias y usuarios y el equipo de salud, tiempos de espera, acceso a la información, trato digno y respetuoso, infraestructura adecuada a necesidades y expectativas de los y las usuarias.

En este contexto, el Ministerio de Salud realizó un estudio para medir la satisfacción usuaria en la red pública de salud en Chile, en el año 2009 [6]. En la Ilustración 2, es posible ver el índice de satisfacción global por tipo de atención, a pesar de que a nivel general la satisfacción es relativamente buena, existen atenciones con un nivel de satisfacción no muy alto, estas son la de urgencia y ambulatoria.

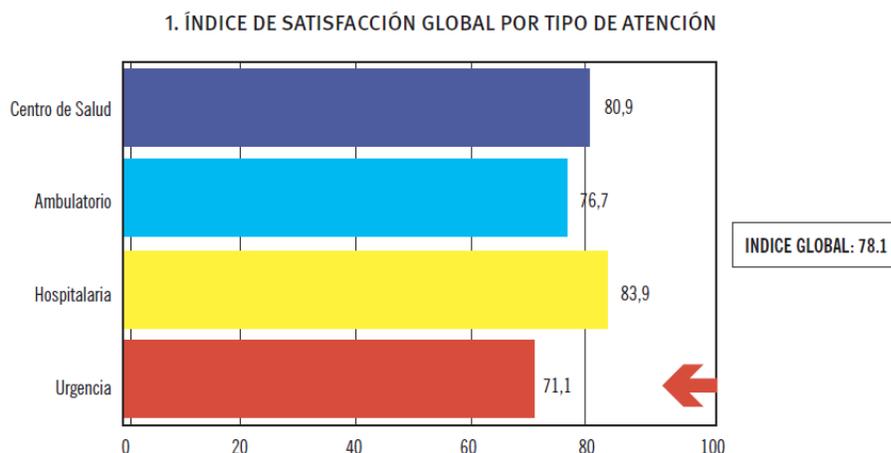


Ilustración 2: Índice de Satisfacción Global por Tipo de Atención
Fuente: Estudio Satisfacción Usuaria MINSAL [6]

El servicio de atención ambulatoria presenta una satisfacción global de un 76,7 (en una escala de 0 a 100). Dentro de las variables evaluadas, en la ilustración 3 se puede ver que el tiempo de espera presenta una muy baja satisfacción usuaria, pudiendo reflejar una posible falta de capacidad o mala administración de las camas hospitalarias.

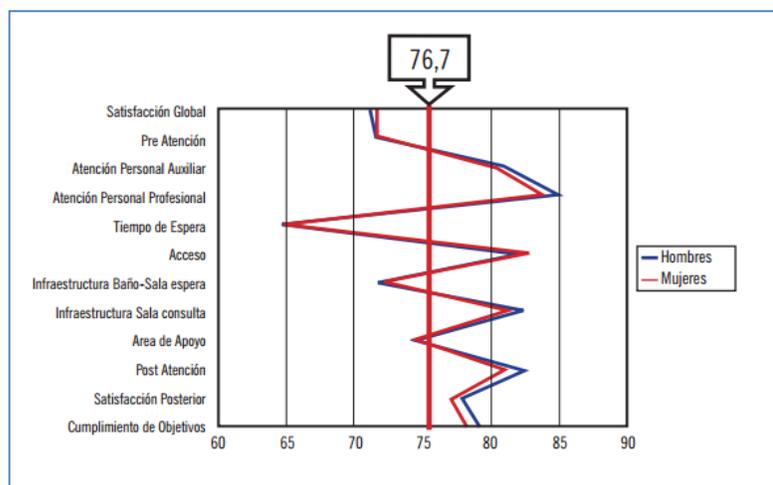


Ilustración 3: Índice de Satisfacción Atención Ambulatoria
Fuente: Estudio Satisfacción Usuaria MINSAL [6]

El servicio de atención hospitalaria presenta una satisfacción global de 83,9, es decir, una calificación relativamente alta, a pesar de eso, es posible ver en la ilustración

4 que la infraestructura de la sala y las visitas médicas son las variables peor evaluadas.

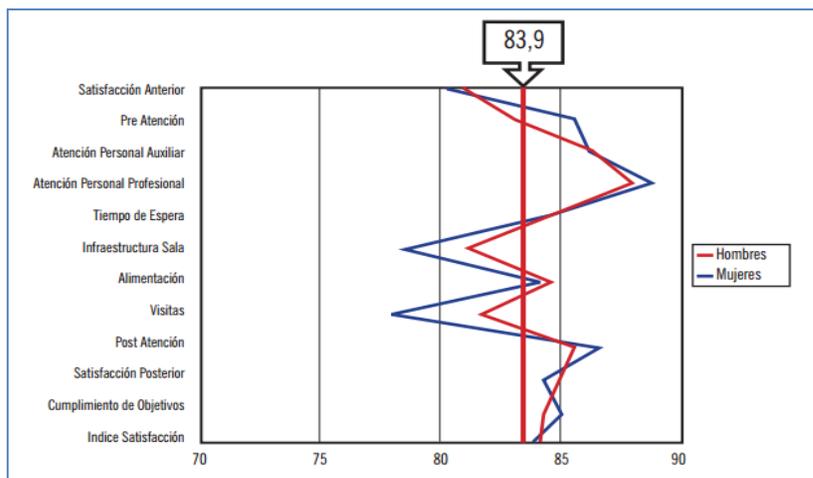


Ilustración 4: Índice de Satisfacción Atención Hospitalaria
Fuente: Estudio Satisfacción Usuaría MINSAL [6]

3.2. Patologías Crónicas y Enfermedades Respiratorias

El avance de la medicina en nuestro país, como el desarrollo de las Unidades de Tratamientos Intensivos y Unidades De Intermedio Pediátrico Médico-quirúrgico, ha permitido mejorar la sobrevida en forma creciente de patologías respiratorias graves. No obstante, esto significa un aumento de niños que sobreviven con secuelas pulmonares y patologías respiratorias restrictivas, la mayoría de progresión lenta, pero que muchas veces requieren hospitalizaciones prolongadas (meses, e incluso años) sólo por necesidad de ventilación mecánica invasiva y no invasiva. Este tipo de pacientes al requerir de hospitalizaciones prolongadas en camas de unidades de tratamientos intensivos o intermedios, conllevan un alto costo para el sistema de salud [7].

A nivel nacional, una encuesta realizada el año 2006 y para un universo de 24 unidades de camas críticas, con 231 camas y 199 ventiladores (149 respiradores convencionales y 50 equipos para ventilación no invasiva), demostró que 26 pacientes se encontraban en ventilación mecánica prologada, definida como aquella entregada por más de 6 horas diaria y por un periodo mayor de 21 días. Esto corresponde a un 11,25 % de las camas UCIP, lo que nos dice que este tipo de pacientes representan un universo importante dentro de los pacientes críticos. Además de esto, a pesar de la gravedad de estos pacientes, muchos de estos se encuentran en condición estable por lo que al tenerlos hospitalizados en las unidades de camas críticas se limita el acceso a pacientes en estado grave en períodos de alta demanda [7].

El grupo respiratorio pediátrico de la Universidad Católica de Chile, publicó su experiencia clínica en el apoyo ventilatorio domiciliario en niños con insuficiencia respiratoria crónica. En esta población se demostró que el gasto de la ventilación

domiciliaria resultó equivalente a 35% de los costos hospitalarios, dependiendo del tipo de soporte ventilatorio empleado, apoyo profesional requerido (que representa cerca del 50% del costo mensual) y tiempo total del tratamiento. Así, la instalación del apoyo en la casa (ventilador mecánico, Bipap o sistema de Cpap invasivo), junto con el resto de los insumos (bombas de aspiración, sondas, oxígeno, etc.), se podrían adquirir al evitar un mes de hospitalización en una UCIP [8].

Dentro de las desventajas que las hospitalizaciones prolongadas conllevan para los pacientes y para el sector público es posible destacar las siguientes:

- Infecciones intrahospitalarias con impacto en la morbi-mortalidad.
- Altos índices ocupacionales en las camas UCI, limitando la capacidad operativa de los hospitales en períodos de alta demanda.
- Deterioro en la calidad de los niños y sus familias
- Costos elevados por concepto de hospitalizaciones en unidades de camas críticas

Tomando el punto en el deterioro de la calidad de los niños y sus familias, se ha demostrado que los padres de niños con enfermedades crónicas pueden sufrir más problemas de salud que padres de niños normales, conllevando a un claro deterioro en todo el ambiente familiar que rodea al niño [9].

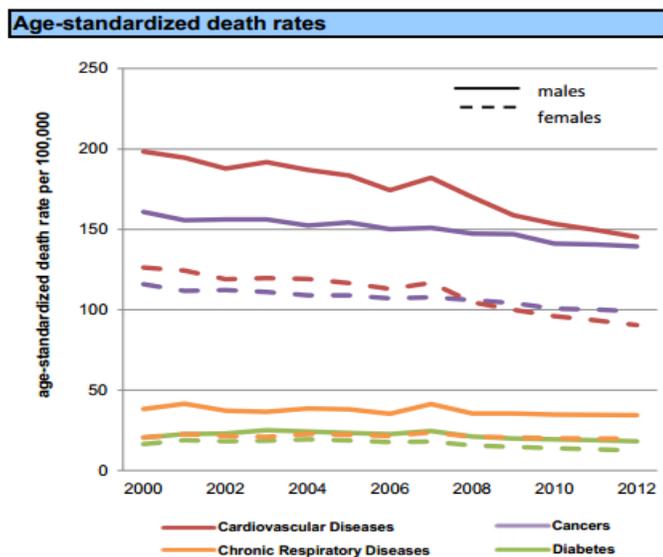


Ilustración 5: Tasa de Muertes Enfermedades Crónicas Período 2000 – 2012
Fuente: Organización Mundial de la Salud [10]

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, las patologías crónicas matan a más de 36 millones de personas cada año. Si analizamos lo que sucede en Chile, las muertes causadas por estas patologías presentan una clara tendencia a la baja [10].

Como se aprecia en la ilustración 5, enfermedades cardiovasculares presentan una clara disminución en la tasa de mortalidad en los últimos años, por otro lado, esta tendencia no es tan clara en enfermedades respiratorias crónicas. Si bien en los últimos años la tasa de mortalidad es levemente menor, no se aprecia una clara tendencia, lo que indica que existe una alta necesidad por mejorar la atención médica entregada a pacientes con patologías respiratorias crónicas.

En la misma línea que el punto anterior, se estima que las enfermedades no comunicables (NCDs) o enfermedades crónicas, representan aproximadamente el 84% del total de muertes asociadas a enfermedades, como se puede ver en la ilustración 6.

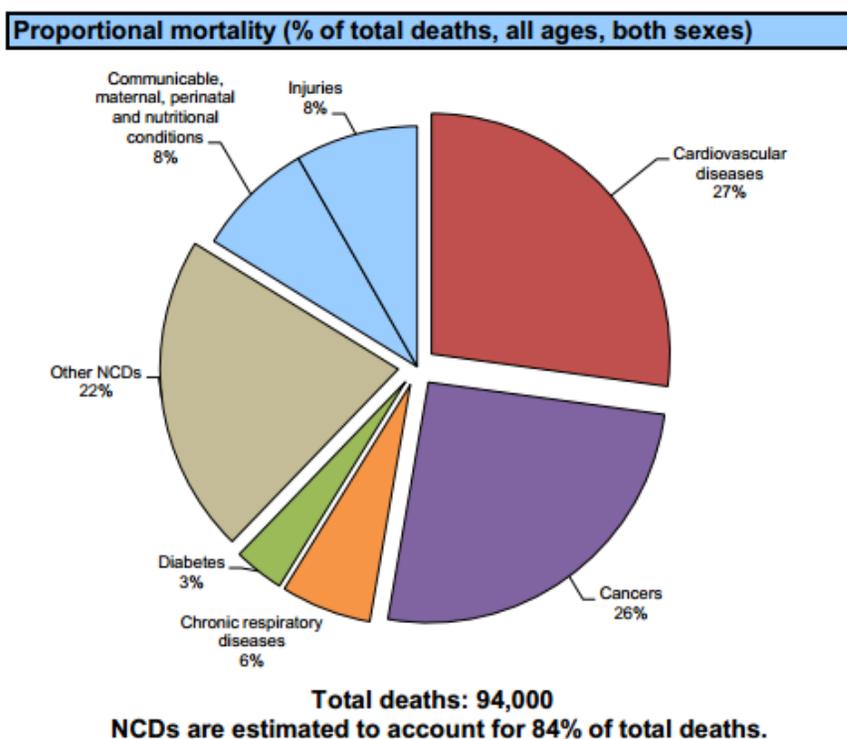


Ilustración 6: Proporción de Mortalidad por Tipo de Enfermedad Período 2012
Fuente: Organización Mundial de la Salud [10]

Si analizamos la tendencia de defunciones en las principales patologías respiratorias, en promedio, existe un aumento del número de muertes causadas por estas. Si bien se sabe que la población aumenta en cada período, este aumento debiera verse compensado por un avance en las tecnologías usadas en la medicina [4]. En el gráfico 3 se puede ver el número de defunciones entre los años 2000 y 2011. Si analizamos la evolución de las muertes causadas por neumonías, se aprecia que no existe un claro patrón, ya que entre los años 2000 y 2003 existió una clara disminución en las defunciones, y posteriormente la tasa de muertes comenzó a aumentar. Pero a

partir de información proyectada del INE en el periodo de 2000 a 2011, la población creció un 11% [11], y el total de defunciones aumento en un 21%, lo que entrega como conclusión que la tasa de mortalidad por enfermedades respiratorias aumento en ese período, generando una necesidad por mejorar la atención en este grupo de patologías.

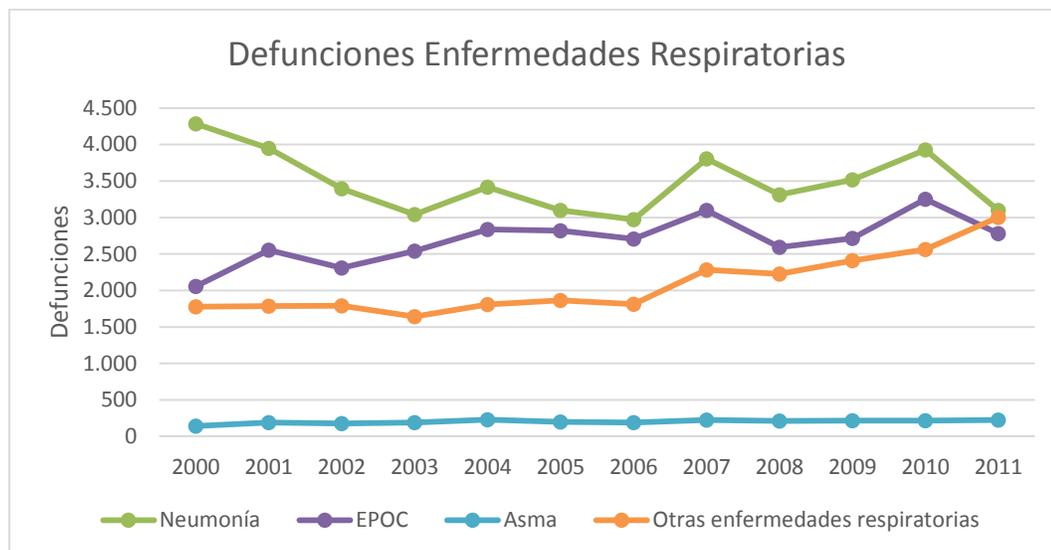


Gráfico 3: Defunciones Enfermedades Respiratorias Período 2000 - 2011
Fuente: DEIS [4]

Otro punto importante a analizar tiene que ver con los egresos hospitalarios a nivel nacional. A partir del gráfico 4, se aprecia que en el período de 2006 a 2011, existe una tendencia a la baja en los egresos totales, pero al ver los egresos respiratorios, es posible identificar una alta volatilidad de estos, posiblemente por los períodos invernales de cada año, los que pueden ser muy variables en su intensidad y explican gran parte de la causa de estos egresos. Además de lo anterior, los egresos respiratorios representan aproximadamente un 20% de los egresos totales, y su alta variabilidad demuestra que el sistema de salud puede ser vulnerable a una alta demanda debido a estas patologías, pudiendo saturar la capacidad de camas en períodos de invierno.

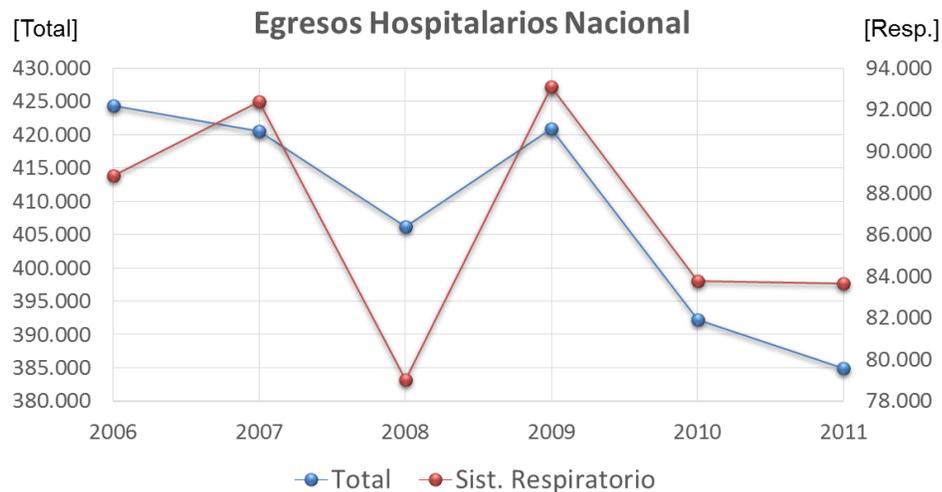


Gráfico 4: Egresos Hospitalarios Período 2006 – 2011
Fuente: DEIS [4]

En el transcurso de la última década, la medicina ha presenciado un notorio avance, esto en el mundo y particularmente en Chile. A pesar de lo anterior, los efectos causados por enfermedades respiratorias crónicas siguen siendo un problema latente en la población. Si bien la tasa de mortalidad ha disminuido en algunas patologías, como por ejemplo en enfermedades cardiovasculares, que atacan un gran porcentaje de la población, en patologías asociadas a las vías respiratorias y neuromusculares existe un aumento en la cantidad de defunciones, lo que refleja que el avance en la medicina no ha generado un fuerte impacto en este tipo de enfermedades, imponiendo constantes desafíos en el desarrollo de nuevas soluciones que enfrenten este tipo de enfermedades.

3.3. Motivación del Proyecto

A partir de lo analizado anteriormente, por un lado, es posible ver que existe una clara falta de capacidad o una mala administración de los recursos en el SSMS, llegando a índices ocupacionales sobre el 85%, y con una tendencia al alta. Por otro lado, los problemas existentes debido a enfermedades crónicas están muy latentes en la población, estudios demuestran que estas patologías siguen siendo la principal causa de muerte, generando un claro deterioro de vida en los pacientes y el entorno familiar que los rodea.

A nivel país, a pesar de todos los avances sanitarios en el sistema de salud público chileno, aún existen puntos importantes que deben ser tratados, como los altos tiempos de espera que aún existen, y la baja percepción usuaria en la infraestructura de las salas hospitalarias.

En conjunto con lo anterior, existe una fuerte necesidad por movilizar hacia los domicilios a pacientes crónicos hospitalizados con ventilación mecánica. Actualmente,

esto ya se está realizando con buenos resultados. A nivel nacional existen los programas AVI (Asistencia Ventilatoria Invasiva) y AVNI (Asistencia Ventilatoria No Invasiva). En estos programas hay pacientes con enfermedades crónicas que se encuentran hospitalizados en sus domicilios. Cabe mencionar en este punto, que en las bases de ambos programas se establecen los procedimientos para ingresar a él, para controlar la condición de salud de los pacientes a través de visitas de profesionales a sus domicilios, y también, se establecen ciertos mecanismos preventivos, en donde se produce una coordinación entre los profesionales médicos y los cuidadores de los pacientes, que son parte clave del cuidado de la salud.

Si bien actualmente ya hay programas definidos para tratar a los pacientes en sus domicilios, aún queda mucho por hacer. Estos pacientes sólo son controlados con cierta periodicidad, es decir, no existe un monitoreo relativamente continuo de la condición de salud de ellos. En consecuencia, la capacidad pro-activa del hospital de tomar acciones previo a que los pacientes sufran alguna crisis de gravedad es algo complicado debido a que no se cuenta con información al instante. Estos programas al ser relativamente nuevos, no presentan procedimientos claros para almacenar la información de los pacientes, y no existen mecanismos muy sofisticados para realizar un efectivo mecanismo preventivo ante posibles complicaciones.

Una mejor gestión de la hospitalización domiciliaria puede ayudar de gran manera a solucionar en parte los problemas anteriormente señalados, disminuyendo las hospitalizaciones no programadas, para así aumentar la disponibilidad de camas en los hospitales, y por otro lado, al contar con mejores procesos para hacer un efectivo seguimiento de la condición de salud, y claros mecanismos preventivos que aseguren una cierta estabilidad en el estado de salud, será posible mejorar de manera considerable la calidad de vida de los pacientes.

Por todo lo antes señalado, existe una fuerte motivación por realizar este proyecto. Mediante una predicción del riesgo de crisis en pacientes hospitalizados en sus domicilios, será posible prevenir futuras descompensaciones, y de esta manera, desarrollar un servicio preventivo que no sólo apuntará a mejorar las condiciones en el servicio de hospitalización ambulatoria domiciliaria, sino que también a evitar las consecuencias de un trato inoportuno en el paciente.

4. Marco Teórico Conceptual

Este capítulo explica la metodología utilizada para la realización del proyecto, que consiste básicamente en la metodología utilizada en el magister de Ingeniería de Negocios con Tecnologías de Información del Departamento de Ingeniería Civil Industrial de la Universidad de Chile (MBE).

En conjunto con lo anterior, se describe de manera general conceptos utilizados en la notación para el modelamiento de procesos, de minería de datos y de arquitectura orientada a servicios.

4.1. Metodología de Ingeniería de Negocios

La metodología base que se utilizó para llevar a cabo este proyecto es la impartida en el MBE, y desarrollada en el libro *“Ingeniería de Negocios, Diseño integrado de Negocios, Procesos, y Aplicaciones TI”* [12].

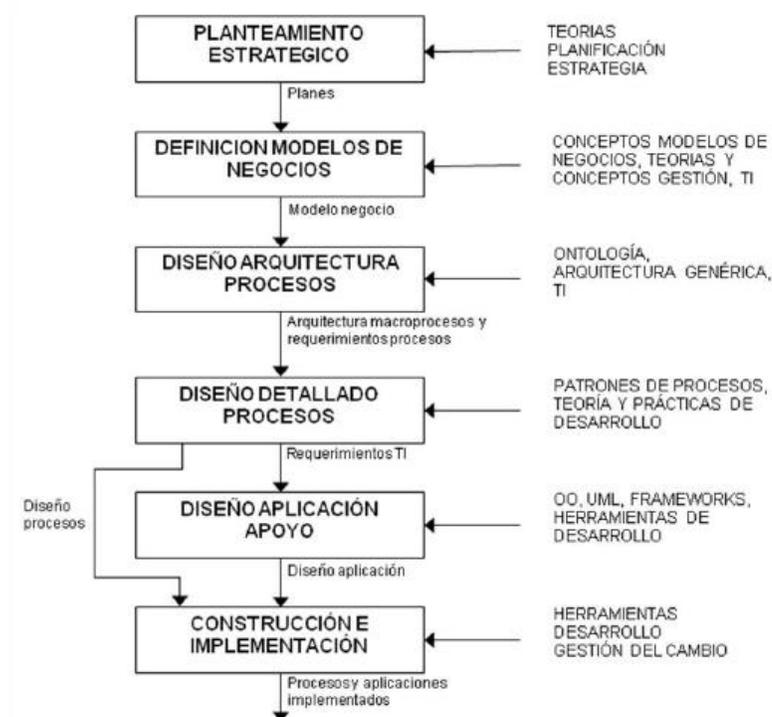


Ilustración 7: Metodología de Ingeniería de Negocios
Fuente: Ingeniería de Negocios, O. Barros [13]

Según lo definido por Barros, la Ingeniería de Negocios es una disciplina que busca guiar a las organizaciones en el diseño, construcción e implementación de sus procesos. En la ilustración 7 es posible ver el esquema de esta metodología, que incluye los siguientes elementos:

- I. **Planteamiento Estratégico:** Este es el punto de partida, el cual requiere un claro planteamiento respecto al posicionamiento estratégico al cual aspira la organización. A este nivel se aplica la teoría de estrategia de Hax [14]. Asimismo, se busca generar un mapa estratégico donde se relacione la visión y misión de la empresa con las distintas perspectivas del BSC¹ (*Balanced ScoreCard*).
- II. **Definición del Modelo de Negocio:** Se establece cómo materializar el posicionamiento estratégico en una oferta hacia los clientes que les genere valor y por el cual estén dispuestos a pagar. En este punto se utilizará el enfoque planteado por *Johnson, Christensen, & Kagermann* [15].
- III. **Diseño de la Arquitectura de Procesos:** Consiste en diseño de grandes agrupaciones de procesos, que llamaremos macroprocesos, creados a partir del modelo de negocio. Este diseño ayuda a ejecutar de la mejor manera posible tal modelo, el cual utiliza como punto de partida los patrones de arquitectura de procesos propuestos por Barros y Julio [16]. Para la realización de este diseño se utiliza la metodología IDEF0².
- IV. **Diseño Detallado de Procesos del Negocio:** Se detallan los macroprocesos de la arquitectura, utilizando como base la notación IDEF0, y BPMN (*Business Process Management Notation*), que será explicada con mayor detalle posteriormente.
- V. **Diseño de las Aplicaciones TI:** Consiste en detallar los apoyos de tecnologías de información a los procesos definidos en el punto anterior, para lo cual se utiliza la metodología de especificación de requerimientos de software UML (*Unified Modeling Language*).
- VI. **Construcción e Implementación:** Con herramientas que crean un ambiente de software para el tipo de diseño definido anteriormente, se construyen las aplicaciones necesarias y se implementan, llevando a la práctica los diseños de procesos que usan las aplicaciones.

¹ BSC: Metodología propuesta por Kaplan y Norton

² IDEF0: Integration Definition for Function Modeling

4.2. Notación de Modelamiento de Procesos de Negocio

En esta sección se explica con mayor detalle las notaciones utilizadas en el modelamiento de procesos, a nivel general (IDEF0), y con mayor detalle (BPMN).

4.2.1. IDEF0

IDEF0 es un método diseñado para modelar decisiones, acciones, y actividades de una organización o sistema. Esta notación ayuda a organizar el análisis de un sistema y para promover una buena comunicación entre el analista y el consumidor. Como una herramienta de comunicación, IDEF0 mejora la participación de expertos en el dominio y apoya la toma de decisiones a través de dispositivos simplificados de gráficas [17].

Esta metodología utiliza gráficas basadas en cajas y flechas, contenidas en diagramas que muestran la función de una actividad como una caja, y las interfaces hacia o desde la actividad como flechas entrando o saliendo de la caja. Para expresar funciones, las cajas operan simultáneamente con otras cajas, con las interfaces de flechas “restringiendo” cuando y como las operaciones son ejecutadas y controladas. La sintaxis básica de un modelo IDEF0 se aprecia en la ilustración 8.

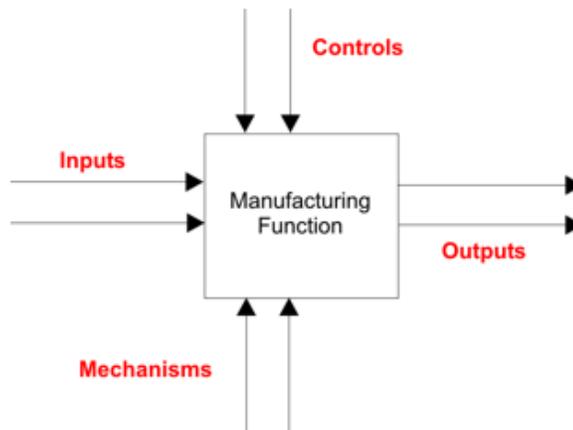


Ilustración 8: Gráficas de Caja y Flechas IDEF0
Fuente: Página web IDEF0 [17]

4.2.2. BPMN

Business Process Modeling Notation o **BPMN** (en español **Notación para el Modelamiento de Procesos de Negocio**), es una notación gráfica estandarizada que permite el modelado de procesos de negocio, en un formato de flujo de trabajo. Su principal objetivo es proporcionar una notación estándar, fácilmente legible y entendible por todos los involucrados e interesados del negocio. BPMN tiene la finalidad de servir

como lenguaje común para cerrar la brecha de comunicación que frecuentemente se presenta entre el diseño de los procesos de negocio y su implementación [18].

El modelado en BPMN se realiza mediante diagramas con un conjunto muy pequeño de elementos gráficos. Existen cuatro categorías básicas de elementos.

Objetos de Flujo: Estos corresponden a eventos, actividades y rombos de control de flujo. Dentro de los eventos, podemos destacar aquellos de inicio y de fin. Las actividades pueden ser tareas ejecutadas por un actor, o bien un sub-proceso. Los rombos de control establecen un control del flujo mediante *gateways*.

Objetos de Conexión: Corresponden a flujos de secuencia (representados por una línea simple continua y flechada), flujos de mensaje (línea discontinua con un círculo no relleno al inicio y una punta de flecha no rellena al final), y asociaciones (representadas a través de líneas punteadas).

Swimlanes (Carriles de Piscina): Pool (en español piscina, representa los participantes principales, por lo general, separados por las diferentes organizaciones), y Lane (en español carril, usado para organizar y categorizar las actividades dentro de un pool).

Artefactos: Corresponden a especificaciones del diagrama, que permite a los desarrolladores mostrar más información para hacerlo más legible. Dentro de estas especificaciones podemos encontrar objetos de datos, grupos y anotaciones.

Si bien la explicación anterior presenta un contexto general de la notación BPMN, en el *Anexo A: Notación BPMN para Modelamiento de Procesos*, se muestra con mayor detalle los elementos principales de esta notación.

4.3. Minería de Datos

La minería de datos o exploración de datos es un campo de las ciencias de la computación referido al proceso que intenta descubrir patrones en grandes volúmenes de conjuntos de datos [19]. Esta técnica es utilizada en muchos rubros con el fin de aumentar la eficiencia, mejorar la competitividad y mejorar el entendimiento de los comportamientos de los clientes. Si bien el concepto minería de datos suele utilizarse de manera genérica, este sólo corresponde a una etapa del proceso KDD, por sus siglas en inglés *Knowledge Discovery from Database* [20], en donde se llevan a cabo etapas de selección de datos, pre-procesamiento, transformación, aplicación de técnicas de minería de datos, interpretación de resultados y obtención del conocimiento.

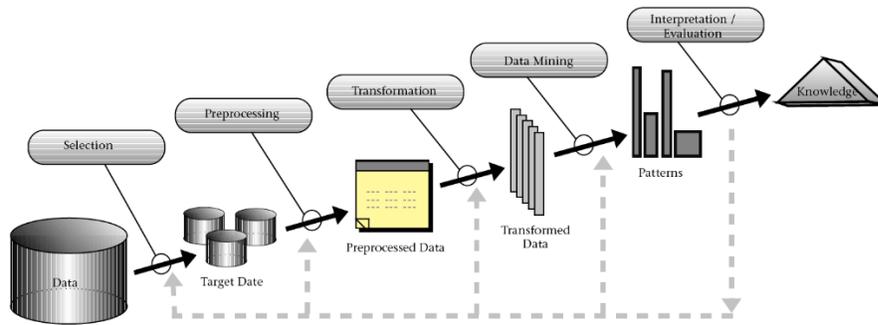


Ilustración 9: Proceso KDD
Fuente: Fayyad, Piatetsky-Shapiro, & Smyth [20]

A continuación se explican los 5 pasos del proceso KDD, los cuales son: selección, pre-procesamiento, transformación, extracción de patrones mediante minería de datos e interpretación de los resultados.

Selección: En esta etapa se determinan las fuentes de datos y el tipo de información que se considera necesaria utilizar. Se extraen los datos que son considerados relevantes para futuros análisis.

Pre-procesamiento: Consiste en la preparación y limpieza de los datos extraídos desde las distintas fuentes de datos. Muchas veces las base de datos poseen datos faltantes, o valores inconsistentes, en esta etapa se realiza una limpieza de aquellos valores obteniéndose una estructura adecuada de datos para su posterior transformación.

Transformación: Consiste en el tratamiento preliminar de los datos, generando nuevas variables a partir de las ya existentes. En esta etapa es usual que se realicen operaciones de normalización o de agregación.

Extracción de Patrones Mediante Minería de Datos: Fase de modelamiento que busca diseñar métodos inteligentes para la extracción de patrones previamente desconocidos. Los principales modelos utilizados en esta etapa son modelos de predicción, clasificación y segmentación.

Interpretación y Evaluación: Etapa final del proceso KDD, en este punto se identifican los patrones obtenidos realizando una evaluación de estos para la extracción de conocimiento.

Los modelos de minería de datos utilizados para la extracción de patrones se dividen en dos grupos según su forma de aprendizaje:

- I. **Aprendizaje Supervisado:** Utilizado para deducir una función a partir de datos de entrenamiento. Una componente del par de datos de entrenamiento corresponde a datos de entrada, y la otra, a los resultados deseados. La salida de la función puede ser un valor número, como en los problemas de regresión, o una etiqueta de clase, como en los de clasificación. El objetivo del aprendizaje supervisado es el de crear una función capaz de predecir el valor correspondiente a cualquier objeto de entrada válida luego 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. En resumen, la principal característica de este tipo de aprendizaje es que existe una variable objetivo a modelar o predecir.

Una de las técnicas más comunes de este tipo de aprendizaje es la Clasificación. Esta 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 instancia o variable objetivo. El resto de los atributos de la instancia se utilizan para predecir la clase. Uno de los modelos más comúnmente utilizados es el Árbol de Decisión. Este modelo construye diagramas de construcciones lógicas, que sirven para representar y categorizar una serie de condiciones que ocurren en forma sucesiva, para la resolución de un problema.

- II. **Aprendizaje No Supervisado:** Método de aprendizaje en donde un modelo es ajustado a las observaciones. Se diferencia del aprendizaje supervisado por el hecho de que no hay un conocimiento a priori. El aprendizaje no supervisado típicamente trata los objetos de entrada como un conjunto de variables aleatorias, siendo construido un modelo de densidad para el conjunto de datos. Este tipo de aprendizaje es muy útil para la comprensión de datos, en donde el objetivo del análisis es describir el comportamiento del conjunto de variables.

Dentro de este tipo de aprendizaje, se destaca la técnica de *clustering* o segmentación, 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 esa etiqueta. Uno de los modelos más utilizados es el método *k-means*, el cual busca particionar n observaciones en k segmentos, en donde cada observación pertenece al segmento con media más cercana.

Otro método importante de mencionar dentro de los aprendizajes no supervisados, es la **lógica difusa**, ya que será utilizado como base para la realización del modelo predictivo de crisis.

Un sistema de lógica difusa puede ser definido como un el mapeo no lineal de un conjunto de datos utilizados como input hacia una salida escalada de los datos [21].

Este sistema consiste en cuatro componentes principales: *fuzzifier*³, reglas, motor de inferencia y *defuzzifier*.

En primer lugar, un conjunto clásico de datos, utilizados como input, se reúnen y son convertidos en un conjunto difuso (en inglés *fuzzy set*) usando variables lingüísticas difusas, términos lingüísticos difusos y funciones de membresía. Luego, se realiza inferencia utilizando un conjunto de reglas. Finalmente, el resultado difuso es mapeado en un conjunto disjunto de datos utilizando las funciones de membresía definidas en el paso anterior.

A modo de ejemplificar lo anterior, consideraremos un sistema de aire acondicionado controlado por un sistema difuso. El sistema ajusta la temperatura del cuarto de acuerdo a la temperatura actual del cuarto y el valor objetivo. El motor difuso periódicamente compara la temperatura del cuarto con la objetivo, y produce un comando para calentar o enfriar la pieza.

La *temperatura (t)* es la variable lingüística que representa la temperatura del cuarto. Para calificar la temperatura, términos como “caluroso” y “frío” son usados en la vida real. Estos son valores lingüísticos de la temperatura. Entonces, $T(t) = \{muy\ frío, frío, caluroso, muy\ caluroso\}$ puede ser la descomposición de las variables lingüísticas de la temperatura.

Las funciones de membresía son usadas en los procesos de *fuzificación* y *defuzificación*, para mapear los input no difusos en variables lingüísticas. Por ejemplo, en la ilustración 10 es posible ver un ejemplo de las funciones de membresía para la temperatura. En este caso, el valor máximo que toma la función es 1 y el valor mínimo es 0. Es importante notar acá, que los valores de las funciones de membresía pueden pertenecer a varios conjuntos al mismo tiempo.

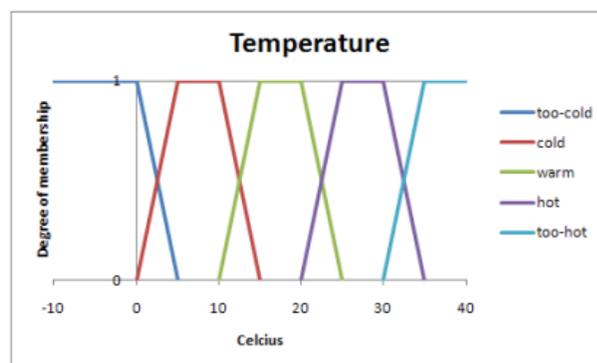


Ilustración 10: Funciones de Membresía para la Temperatura
Fuente: Ejemplo Paper [21]

³ Fuzzifier: Proveniente de fuzzy (difuso en español).

En un sistema difuso, una base de reglas es construida para controlar la variable de salida. Una regla difusa es una simple regla IF – THEN (en inglés si pasa eso, sucede esto otro) con una condición y una conclusión. Por ejemplo, la tabla 2 muestra una representación en una matriz de reglas difusas para el caso anterior. En este caso, la matriz se lee de la siguiente manera: Si la temperatura es fría (*cold*) y el objetivo es caluroso (*hot*), entonces el comando es calentar (*heat*).

temperature/target	too-cold	cold	warm	hot	too-hot
too-cold	no-change	heat	heat	heat	heat
cold	cool	no-change	heat	heat	heat
warm	cool	cool	no-change	heat	heat
hot	cool	cool	cool	no-change	heat
too-hot	cool	cool	cool	cool	no-change

Tabla 2: Ejemplo de Matriz Difusa
Fuente: Ejemplo Paper [21]

El ejemplo anterior de lógica difusa puede aplicarse a los signos vitales de los pacientes, por ejemplo, si analizáramos la frecuencia cardíaca y el estado de gravedad, podríamos determinar que cuando la frecuencia cardíaca es muy baja, es decir, existe una bradicardia, o bien cuando esta es muy alta, es decir, cuando hay una taquicardia, el riesgo del paciente es alto. Para valores intermedios de la frecuencia cardíaca, habría que definir funciones para definir cuales la variable de salida de riesgo. Si bien el ejemplo anterior está muy simplificado, esto se complejiza a medida que se agregan todos los signos vitales, y se establecen funciones matemáticas de pertenencia.

4.4. Arquitectura Orientada a Servicios

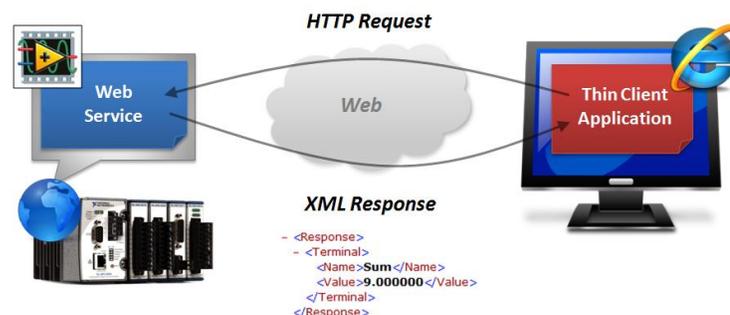
La **Arquitectura Orientada a Servicios** (SOA⁴), es un paradigma de arquitectura para diseñar y desarrollar sistemas distribuidos. Las soluciones SOA han sido creadas para satisfacer los objetivos de negocio, las cuales incluyen facilidad y flexibilidad de integración con sistemas legados, alineación directa a los procesos de negocio reduciendo costos de implementación, innovación de servicios a clientes, y una adaptación ágil ante cambios, incluyendo reacción temprana ante la competitividad [22].

Existen muchas definiciones de SOA, pero ninguna es universalmente aceptada. Lo que es central para todas, sin embargo, es la noción de *servicio web*. SOA puede definirse como un estilo de arquitectura en donde los sistemas consisten en usuarios de los *servicios web* y proveedores de los *servicios web* [22].

Hay que tener cuidado cuando se manejan los términos de *servicios web* y SOA, y no confundirlos. Los *servicios web* engloban varias tecnologías, las cuales permiten construir soluciones de programación para mensajes específicos, y para problemas de integración de aplicaciones [23].

En cambio SOA, es una arquitectura de aplicación en la cual todas las funciones están definidas como servicios independientes con interfaces invocables, que pueden ser llamadas en secuencias bien definidas para formar los procesos de negocio.

En SOA la clave está en la interfaz puesto que define los parámetros requeridos y la naturaleza del resultado. Esto significa que define la naturaleza del servicio y no la tecnología utilizada. Esta función permite la realización de dos puntos críticos: los servicios son realmente independientes y pueden ser manejados.



En la ilustración 11 es posible ver un ejemplo de una solicitud a un servicio web a través de una aplicación en el lado del usuario. El protocolo típico para realizar

⁴ SOA: Sigla en inglés de Arquitectura Orientada a Servicios (**S**ervice **O**riented **A**rchitecture)

solicitudes es *HTTP Request*, esta solicitud llega al servicio web, el cual recibe los parámetros y realiza una búsqueda de los datos necesarios en el repositorio de datos, posteriormente envía la respuesta a través de lenguaje XML⁵.

La utilización de SOA será necesaria para la construcción del prototipo computacional que apoyará los distintos procesos, con el fin de crear un prototipo flexible y fácilmente escalable.

⁵ XML: Siglas en inglés de *eXtensible Markup Language*. Es un lenguaje para expresar información de manera estructurada.

5. Trabajo Relacionado

La principal problemática que busca atacar este proyecto es la de proveer servicios médicos de salud de manera remota, y pro-activa ante posibles complicaciones, mediante la utilización de tecnologías y algoritmos de predicción del estado de salud del paciente. El presente capítulo busca analizar distintos enfoques de lo que ya se ha realizado en la literatura para resolver la problemática recién planteada.

5.1. Sistemas de Monitoreo Remoto

Se ha estimado que la aplicación de monitoreo remoto en enfermedades crónicas para prevenir un deterioro en la salud mediante una detección temprana de enfermedades, podría ahorrar aproximadamente \$197 Billones de Dólares en Estados Unidos dentro de los próximos 25 años [25].

Se descubrió que cuando pacientes con enfermedades crónicas reciben un efectivo manejo de la salud dentro de un sistema integrado, con un monitoreo constante, les suele ir mejor. En resumen, los sistemas de salud necesitan estar preparados para adaptarse a situaciones cambiantes, nueva información y eventos no predecibles [26].

Recientes descubrimientos en las tecnologías de comunicación y la computación asociada, y la electrónica digital, permiten monitorear a distancia los datos del paciente. La mayoría de los sistemas de monitoreo a distancia incluyen cinco componentes: adquisición de la data usando sensores apropiados; transmisión de la data desde el paciente al médico; integración de la data con otros datos describiendo el estado del paciente; síntesis de una acción apropiada para el cuidado del paciente; y el almacenamiento de la data [27].

Lo anterior señala elementos claves que deben poseer buenos sistemas de monitoreo a distancia. Un punto importante es contar con lógicas adecuadas para una descripción correcta de la condición de salud del paciente, para así tomar acciones de manera oportuna, que efectivamente se anticipen ante posibles complicaciones.

Uno de los emergentes requerimientos para un sistema de cuidado de salud es entregar varios servicios de detección y monitoreo, en el contexto de las características de cada usuario. El objetivo principal de un sistema de cuidado es detectar anomalías en los parámetros fisiológicos del paciente lo más preciso posible para hacer diagnósticos de posibles anomalías [28].

Actualmente, los sistemas de telemedicina involucran la integración de tecnologías en redes con los procesos de salud. Es claro que en los diferentes procesos para el cuidado del paciente existe un problema de interoperabilidad entre los

sistemas. La arquitectura orientada a servicios está jugando un rol fundamental en resolver estos problemas de interoperabilidad, problemas compuestos principalmente por una interoperabilidad física, interoperabilidad del tipo de data e interoperabilidad del nivel de especificación [29].

Como una medida de afrontar lo anterior, diversos estudios de investigación han intentado enfrentar esta problemática, mediante la utilización de computación ubicua basados en arquitecturas SOA. La computación ubicua es entendida como la integración de la informática en el entorno de la persona, de forma que los ordenadores no se perciban como objetos diferenciados. En este campo se integran dispositivos alrededor de escenarios donde se encuentre localizado el ser humano, en el que éste pueda interactuar de manera natural con sus dispositivos y realizar cualquier tarea diaria de manera completamente transparente con respecto a sus computadores [30].

La arquitectura orientada a servicios refuerza los principios básicos de arquitectura de software, como la abstracción, encapsulación, modularización y re-utilización de software. Cada proceso por sí mismo provee un servicio, además de esto, cada servicio individual es modificable sin afectar como es consumido el servicio global. Por estas razones, se cree que la arquitectura orientada a servicios es adecuada para este tipo de modelos [31].

En la literatura existe una serie de modelos propuestos basados en la computación ubicua y arquitectura SOA. Por ejemplo, *F. Paganelli y D. Giuli* [32] proponen una arquitectura basada en ontologías del contexto y un sistema de manejo de este. Las componentes principales de esta ontología son: localización; data física del paciente; actividad; y contexto social. El sistema propuesto por estos autores es bastante completo, incorporan a la ontología aspectos claves del proceso, como por ejemplo un razonamiento sobre el contexto del paciente, en conjunto con una adecuada política de alarmas preventivas. En esta misma línea, otros autores han propuesto ontologías para sistemas de manejo remoto de salud y detección de alertas, que integran de manera explícita en las ontologías el uso de minería de datos en conjunto con el criterio experto de los médicos, pero sólo se establecen lineamientos generales, sin llegar a una lógica explícita [33].

Otro elemento interesante es el de incorporar sistemas de gestión de *workflows*⁶ en la salud. Estos están siendo críticos para permitir un trabajo eficiente y de calidad mejorada en la empresa de la salud, y para los profesionales de esta área. Existen varios investigadores que han intentado integrar los procesos de salud con *workflows* y documentarlos de manera formal. *Emanuele y Koetter* [34] discutieron estos temas, y exploraron como BPM⁷ y la tecnología *workflow* puede generar un profundo impacto en la integración de procesos.

⁶ Workflow: Corresponde a flujos de trabajo, estructurando las tareas o actividades de este.

⁷ BPM: Gestión o administración por procesos de negocio (**B**usiness **P**rocess **M**anagement en inglés)

BPM enfrenta las necesidades del negocio y un diseño flexible de procesos que son basados en servicios, los cuales pueden ser implementados posteriormente a través de infraestructura SOA. Los autores del paper creen que BPM es el facilitador de SOA, ya que provee gobernación para la composición de servicios, ejecución y coordinación [35].

Otros trabajos han logrado diseñar sistemas que interpretan los servicios móviles de salud como un proceso de servicios, extendiendo el BPMS⁸ hacia el área de la salud. Este es el caso de la aplicación THE-MUSS, la cual captura bio-señales y síntomas mediante cuestionarios, a través de una plataforma común de servicios. Lo interesante de esta arquitectura es que integra como parte esencial de su diseño herramientas analíticas para la predicción sobre enfermedades [36].

Los estudios anteriores muestran la relevancia de diseñar sistemas con una arquitectura orientada a servicios, debido a su flexibilidad y escalabilidad. A pesar de lo anterior, los distintos trabajos difieren en su mecanismo preventivo, es decir, la metodología utilizada para la detección de alertas. Algunos de estos trabajos incorporan el uso de reglas semánticas, las cuales se basan principalmente en el conocimiento experto para la detección de comportamientos anómalos, otros trabajos realizan estudios estadísticos más profundos de los datos para la realización de modelos predictivos. A continuación se analizarán los modelos predictivos más relevantes que enfrentan la problemática recién descrita.

5.2. Modelos de Predicción

El área de la salud es un sector que presenta recursos limitados, en este sentido, los modelos de predicción proporcionan información crítica para la toma de decisiones, ya que no siempre se dispone de los recursos necesarios para tratar a todos los pacientes, como consecuencia de esto, contar con la capacidad de detectar con anticipación posibles anomalías podría generar una mejora notable en el servicio médico reduciendo considerablemente la tasa de mortalidad en la población de pacientes crónicos.

La predicción de ciertos comportamientos en el área de la salud ha sido un tema ampliamente estudiado. Existen diversos estudios que han apoyado este tema, desde puntajes predictivos utilizados en el área pediátrica, como el PRISM (*Pediatric Risk of Mortality*), puntaje que entrega un índice que determina la probabilidad de mortalidad de un paciente que ingresa a la unidad de hospitalización crítica, hasta mecanismos que intentan identificar comportamientos anómalos en los signos vitales para prevenir enfermedades utilizando como base estudios estadísticos de los datos [36].

⁸ : BMPS: Sistema para la gestión de procesos BPM (**B**usiness **P**rocess **M**anagement **S**ystem por su sigla en inglés)

Muchos puntajes predictivos buscan predecir la probabilidad de mortalidad en los pacientes basados en un enfoque tradicional de regresión, por ejemplo, el puntaje PIM (*Predictive Index of Mortality*) realiza una medición de variables como signos vitales, presiones de ventilador, entre otras. Estas son medidas en las primeras 24 horas luego de la admisión de un paciente en la UPC (Unidad Pediátrica Intensiva) [37]. S. *Leteurtre et al.*, utilizan una metodología similar, realizando un puntaje predictivo para medir disfunción orgánica múltiple, tomando los valores extremos de cada signo vital y otras variables en las primeras horas luego del ingreso a UPC [38].

Otros estudios intentan descubrir patrones de desviación de los signos vitales mediante un análisis de los percentiles, de esta manera es posible identificar desviaciones de los signos vitales sobre rangos esperados en niños hospitalizados [39]. Un enfoque similar pero con una base estadística más profunda es realizado por L. *Tarassenko et al.* Ellos realizaron un puntaje de alerta basado en las distribuciones estadísticas de los signos vitales en pacientes hospitalizados [40].

En resumen, existen varios estudios que abordan la temática de monitoreo remoto estableciendo de manera clara la arquitectura tecnológica a analizar, pero careciendo de un enfoque claro en el análisis del comportamiento del estado de salud de los pacientes. Otros estudios intentan abordar esto, buscando detectar anomalías en los signos vitales en pacientes hospitalizados, pero están acotados solo a acciones dentro del hospital.

El proyecto de este trabajo se diferencia de estudios anteriores debido a que integra de manera clara procesos con notación BPMN, permitiendo una mejor gestión y administración de los distintos procesos clínicos. Además de esto, la utilización de un modelo predictivo basado en lógica difusa, el cual intenta modelar el razonamiento experto de un médico, propone una forma de predecir distinta a lo intentado anteriormente. Se estima que la utilización esta metodología de predicción, en conjunto con el criterio experto de médicos, puede generar predicciones más precisas del nivel real de riesgo que posee el paciente. Los sistemas generados en este trabajo son apoyados mediante una arquitectura SOA, en coordinación con aplicaciones móviles, lo que permite la generación de un sistema flexible, escalable, y capaz de generar alertas y acciones preventivas que eviten posibles complicaciones de la salud.

6. La Organización

El Hospital Dr. Exequiel González Cortés (HEGC) o popularmente conocido como “*El Exequiel*”, es un centro asistencial pediátrico perteneciente al sistema público de salud de Chile, ubicado en la comuna de San Miguel en Santiago de Chile. Es también un centro asistencial docente, orientado a la satisfacción de las necesidades de salud: curación, promoción, prevención y rehabilitación de la salud de los niños, niñas y adolescentes de la red del SSMS.

El hospital atiende 25 patologías GES⁹, de las que destacan insuficiencia renal crónica terminal, cardiopatías congénitas operables, escoliosis, diabetes mellitus tipo I, cáncer en menores de 15 años, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, entre otras.

Es considerado de alta complejidad, dada la alta cantidad de especialidades médicas que concentra y la amplia gama de servicios que ofrece. Desde diciembre de 2007 posee el título de *Autogestionado en Red*, por lo cual el Ministerio de Salud le confiere recursos para su administración autónoma sujeto al cumplimiento de metas y obligaciones anuales.

En la ilustración 12 es posible ver la dotación de personas que trabajan en el HEGC. Este cuenta con una planta de 157 médicos y 169 profesionales médicos.

ESTAMENTOS.	PLANTAS	Nº DE PERSONAS
LEY 18.834	DIRECTIVOS ADP	3
	PROFESIONAL	169
	TECNICOS	250
	ADMINISTRATIVOS	112
	AUXILIARES	83
	SUBTOTAL	616
LEY 15.076	MEDICOS	53
	SUBTOTAL	53
LEY 19.664	DIRECTIVOS	3
	MEDICOS	104
	DENTISTAS	3
	Q.FARMACÉUTICO	5
	BIOQUÍMICOS	1
	SUBTOTAL	117
	TOTAL	786

Ilustración 12: Dotación HEGC
Fuente: Cuenta Pública HEGC 2013

⁹ GES: Garantías Explícitas en Salud. Patologías con un conjunto de beneficios por ley para personas afiliadas en a Fonasa y a las Isapres.

6.1. Historia

Antes de ser un Hospital Pediátrico, la estructura física estaba destinada para el primer Hospital del Seguro Obrero que funcionaba desde 1952, y que al año siguiente, un 3 de Octubre, lo bautizan mercedamente con el nombre del Dr. Exequiel González Cortés.

Comienza sus funciones como organización pediátrica en el año 1962, bajo un contexto histórico en que los efectos de la desnutrición y las enfermedades gastrointestinales e infecciosas mantenían una alta mortalidad infantil, sobre todo en los sectores económicamente bajos, lo que constituía una gran parte del área sur de la Región Metropolitana.

En la actualidad el Hospital pertenece al SSMS, por lo que tiene asignado una población de aproximadamente 300.000 niños, provenientes de 11 comunas del sector sur de Santiago.

6.2. Estructura

El HEGC se estructura organizacionalmente en 13 centros de responsabilidad, los cuales son áreas ejecutivas con responsabilidades definidas. Por otro lado, la plana directiva se conforma por un director, sub-direcciones y áreas de apoyo, como se aprecia en la ilustración 13.



Ilustración 13: Dirección HEGC
Fuente: Tesis A. Quezada

Cada sub-dirección posee una función específica, la sub-dirección médica tiene a su cargo los centros de responsabilidad asociados con los servicios clínicos, de la misma forma, la sub-dirección de gestión del cuidado tiene a su cargo a enfermeras, paramédicos y personal auxiliar. La sub-dirección administrativa reúne todos los centros de responsabilidad que prestan apoyo a los servicios centrales.

En las ilustraciones 14 y 15 es posible ver en detalle cómo se estructura cada centro de responsabilidad, y como están relacionados con respecto a cada sub-dirección.

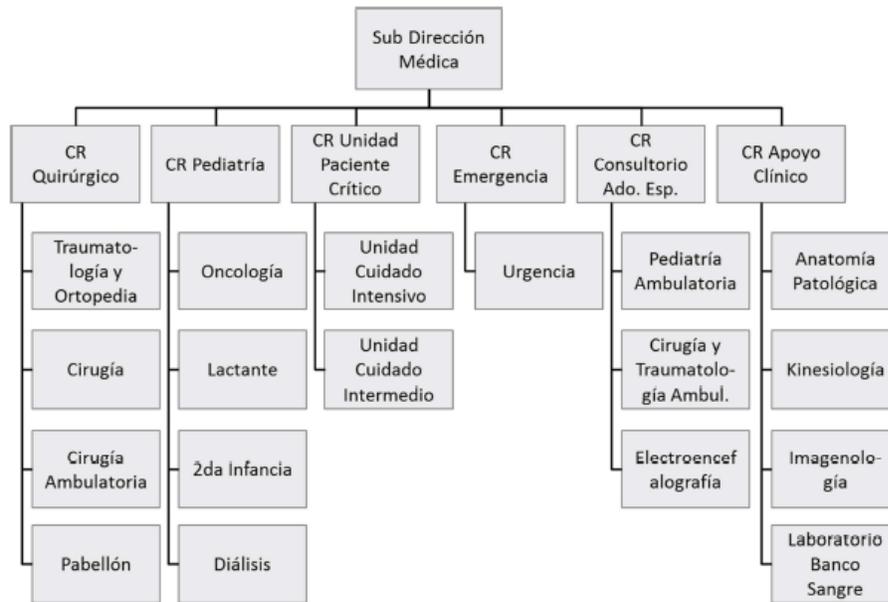


Ilustración 14: Estructura Sub-Dirección Médica
Fuente: Tesis A. Quezada

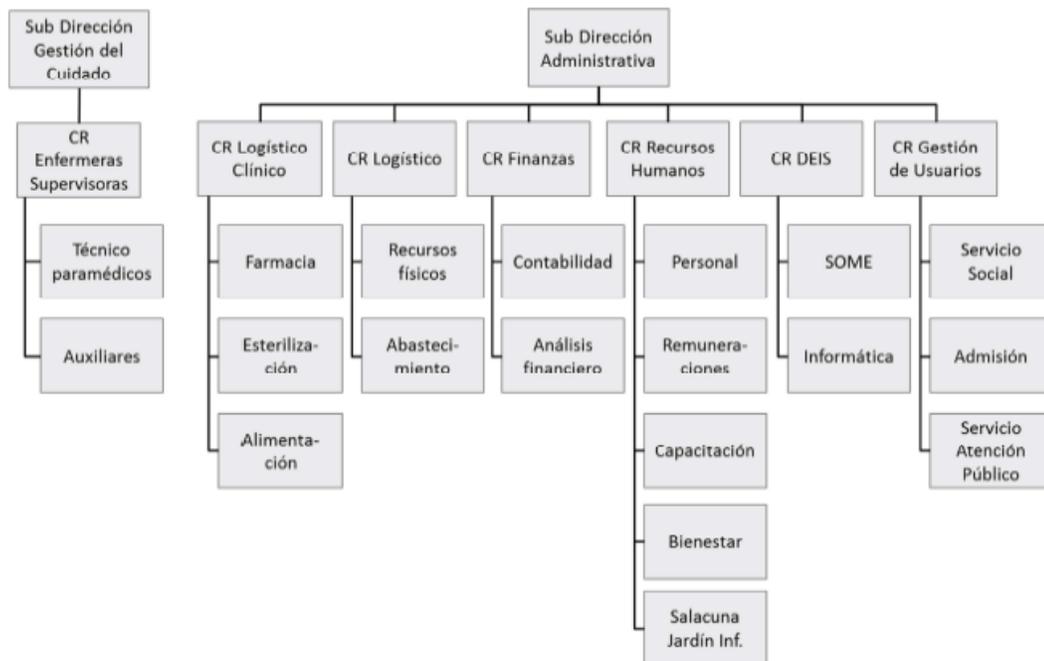


Ilustración 15: Estructura Sub-Dirección Gestión del Cuidado y Sub-Dirección Médica
Fuente: Tesis A. Quezada

6.3. Planteamiento Estratégico

Cada organismo perteneciente al Sistema de Salud Público posee un rol específico en la red asistencial. Por lo tanto, antes de analizar cuál es el planteamiento estratégico del HEGC en el contexto del proyecto, hay que considerar cuáles son las preocupaciones y objetivos del Ministerio de Salud y SSMS.

Ministerio de Salud.

- Misión: *“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.”* [41]
- Visión: *“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.”* [41]

Lo principal que puede desprenderse de los objetivos del Ministerio de Salud es que busca acoger oportunamente las necesidades de las personas, familias y comunidades, que estas participen activamente en la construcción de sus estilos de vida y que estas tengan acceso a una atención en salud oportuna, acogedora, equitativa y de calidad.

Servicio de Salud Metropolitano Sur.

- Misión: *“Ser una red de salud integrada cuyo objetivo principal sea lograr el mejor impacto sanitario en nuestra población asignada, mediante una gestión de excelencia, con un trabajo coordinado y centrado en las necesidades de nuestros usuarios, fomentando la participación social, el desarrollo de las personas que trabajan en la organización, la equidad y el uso eficiente de los recursos de la red”* [3].
- Visión: *“Satisfacer integralmente las necesidades de salud de la población, proyectándonos como un servicio que alcanza sus objetivos sanitarios, que cuenta con personal orgulloso y comprometido, y usuarios que confían en su red asistencial”* [3].

De la misión y visión del SSMS se desprende que busca satisfacer integralmente las necesidades de salud mediante una gestión de excelencia, a través de un trabajo coordinado y centrado en las necesidades de sus usuarios.

Hospital Exequiel González Cortés.

- Misión: *“El Hospital de niños Exequiel González Cortés, es un establecimiento asistencial docente, dependiente del Servicio de Salud Metropolitano Sur, que fundamenta su quehacer en la satisfacción de las necesidades de Promoción, Prevención, Recuperación y Rehabilitación de la salud de la población infantil y adolescente del área sur de la Región Metropolitana. Con equipos multidisciplinarios comprometidos, con el más alto nivel de excelencia profesional y tecnológico, en desarrollo permanente y trabajando en un ambiente grato, respetando los derechos de las personas e integrando a la familia, la comunidad y la red asistencial en los cuidados y tratamientos de los niños”* [42].
- Visión: *“Al año 2014 nuestro compromiso con las personas es atenderlas con **calidad certificada** y **tiempos de espera definidos para cada atención**”* [42].

A partir del planteamiento estratégico del HEGC, es posible ver que establece como foco principal el entregar atenciones con calidad certificada y tiempos de espera definidos, fundamentando su quehacer en la satisfacción de las necesidades de salud en la población pediátrica con el más alto nivel de excelencia profesional y tecnológico, integrando a la familia, la comunidad y la red asistencial en los cuidados y tratamientos de los niños.

En resumen, todas las instituciones mencionadas se enfocan en problemáticas similares, que principalmente se relacionan con la entrega de un servicio de calidad, accesible y oportuno.

6.3.1. Balance ScoreCard HEGC

El *Balanced ScoreCard*¹⁰ ofrece una visión integrada y balanceada de la organización y permite desarrollar la estrategia en forma clara, para ello obliga a definir estrategias corporativas, revisar los procesos clínicos y administrativos y definir los objetivos estratégicos que servirán de guía para el comportamiento y la performance de los equipos Directivos. En síntesis, el *Balance ScoreCard* crea una organización basada en la estrategia.

En la ilustración 16 se aprecia el *Balance ScoreCard* del Hospital Exequiel González. Se puede apreciar que existen cuatro perspectivas claves en su estrategia organizacional. Si bien todas las perspectivas serán abordadas por el proyecto, existen

¹⁰ Balance ScoreCard: Cuadro de mando de una organización. Es una herramienta para gestionar el desempeño de la estrategia organizacional.

algunas que lo serán de manera directa, estas son la perspectiva del Ciudadano y perspectiva de los Procesos Clínicos y de Apoyo.

Perspectiva del Ciudadano. El proyecto mejora el impacto de excelencia en el servicio de atención hospitalaria, proporcionando una atención de calidad, segura y evitando las consecuencias de un trato inoportuno.

Perspectiva de los Procesos Clínicos y de Apoyo. El proyecto busca apoyar en alcanzar, desarrollar y mantener los índices de calidad de acuerdo a los estándares establecidos. Mejorar y fortalecer un sistema de información que permita la clasificación y gestión continua de las prestaciones. Fortalecer la coordinación con la red asistencial de salud.

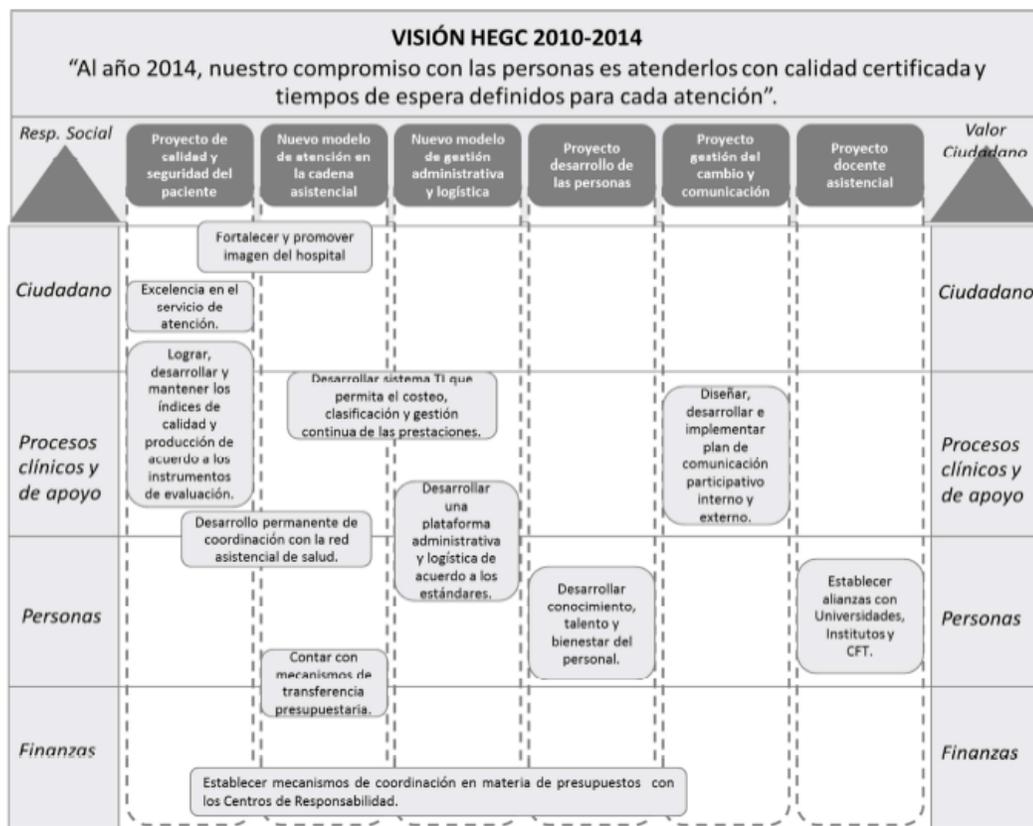


Ilustración 16: Balance ScoreCard HEGC
 Fuente: Directiva HEGC

6.3.2. Posicionamiento Estratégico HEGC según Hax

De acuerdo al modelo delta planteado por A. Hax, las organizaciones sin fines de lucro debieran centrar su posicionamiento en tres posibles ejes: Lock-in Sistémico, Mejor Producto o Servicio Integral al Cliente [14].

Lock-in Sistémico: Competencia basada en economías de sistemas, en donde la organización adopta un liderazgo dominante respecto a sus competidores. Esta estrategia requiere de otras organizaciones facilitadoras, las cuales realizan su trabajo exclusivamente para la empresa Lock-in. De esta manera, la empresa con posicionamiento Lock-in se convierte en un proveedor dominante para las necesidades del usuario.

Mejor Producto: Competencia basada en economías del producto, en donde se busca crear valor mediante bajos costos, o mediante una diferenciación que el usuario observa con respecto a las opciones del mercado.

Servicio Integral al Cliente: En el contexto de organizaciones sin fines de lucro, esta estrategia persigue la satisfacción de necesidades críticas del usuario, lo cual se obtiene mediante una amplia cobertura de servicios y/o productos, y una relación estrecha de permanente involucramiento y colaboración.

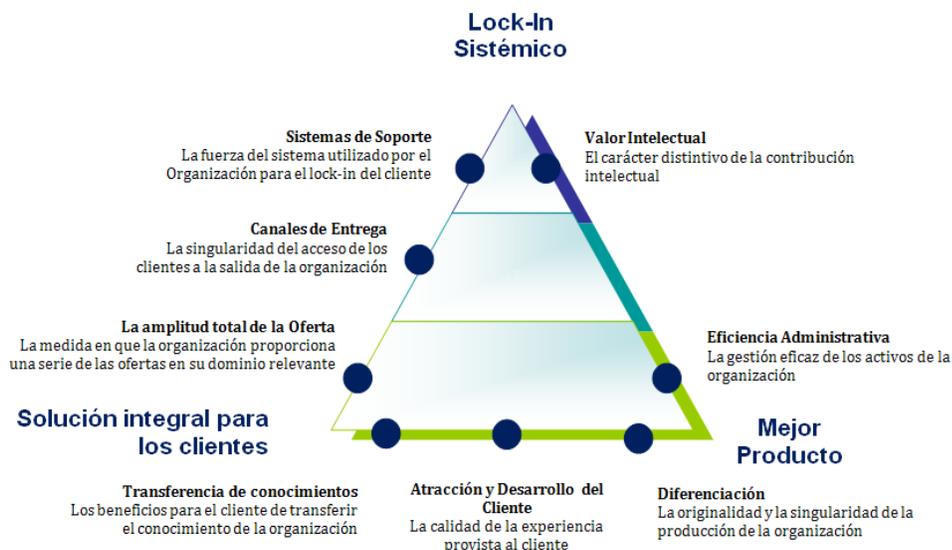


Ilustración 17: Modelo Delta para Organizaciones Sin Fines de Lucro
Fuente: A. Hax, Modelo Delta [14]

Analizando los posibles ejes del posicionamiento estratégico de Hax, el planteamiento estratégico del Hospital dentro del contexto del proyecto estaría en **Servicio Integral al Cliente**, inclinado hacia **Mejor Producto**. A partir de los objetivos estratégicos del Hospital, se desprende que este busca tener un profundo conocimiento

del paciente, poniendo la salud de este como objetivo principal, buscando satisfacer gran parte de sus necesidades, y entregando un servicio totalmente diferenciador. A continuación se explicará cómo el proyecto fortalece el posicionamiento estratégico del Hospital Exequiel González.

Atracción y desarrollo del cliente. El principal objetivo del HEGC es entregar un servicio de calidad, seguro y digno, generando un impacto de excelencia en el servicio de atención hospitalaria. El proyecto buscará predecir el riesgo de que los pacientes sufran una crisis a través de modelos predictivos, para así evitar las consecuencias de un trato inoportuno mediante una hospitalización diferenciada, dependiendo de las características de cada paciente. Además de lo anterior, el proyecto generará un tremendo impacto en el entorno familiar del paciente, mejorando la calidad de vida de los familiares que conviven diariamente con ellos.

La amplitud de la oferta. El HEGC busca satisfacer la demanda de atención hospitalaria y la satisfacción de una serie de necesidades de sus pacientes, que son las de promoción, recuperación y rehabilitación. A través de un efectivo monitoreo a distancia, el proyecto buscará entregar un servicio integral que logre satisfacer muchas de las necesidades del paciente, proporcionando una gama de servicios en su dominio relevante.

Diferenciación. Actualmente pocas instituciones de salud en el mundo poseen la capacidad de proveer un servicio remoto que no sólo monitoree indicadores de salud de los pacientes, sino que también genere alertas preventivas de manera de entregar un servicio pro-activo y no reactivo. Estas características hacen del servicio entregado muy singular dentro del entorno de producción del hospital, transformándolo en un servicio totalmente diferenciador con respecto a otras instituciones de salud.

6.4. Modelo de Negocio

A partir de lo anterior es posible desprender el modelo de negocio del HEGC, usando como base la metodología planteada por *Johnson et al.* [15]. Ellos plantean cuatro ejes que en su conjunto crean valor hacia el cliente. Estos son: Creación de Valor, Fórmula de Beneficios, Recursos Claves y Procesos Claves.

6.4.1. Creación de Valor

La propuesta de valor define el valor agregado que se le estará entregando al cliente. El proyecto propone fortalecer los servicios preventivos y disminuir la tasa de hospitalizaciones no programadas. La propuesta de valor estará enfocada en dos ejes:

- Entregar un servicio preventivo que permita pronosticar el riesgo de una crisis, evitando las consecuencias de un trato inoportuno en el paciente.

- Generar un potencial aumento de disponibilidad de camas críticas en el Hospital mediante una disminución de la tasa de hospitalizaciones no programadas.

En base a los lineamientos recién señalados, la propuesta de valor puede resumirse en la siguiente frase:

“Mejorar la calidad de vida del paciente mediante un servicio preventivo que evite las consecuencias de un trato inoportuno, generando una disminución de las hospitalizaciones no programadas y un potencial aumento de disponibilidad camas críticas del hospital”

6.4.2. Formula de Beneficios

Dentro de las utilidades creadas con la propuesta de valor establecida anteriormente, es posible distinguir dos beneficios directos. Por un lado, al establecer un mejor monitoreo a distancia, el Hospital podrá prescindir de ciertos recursos que actualmente destina para controlar en el domicilio a los pacientes, y por otro lado, será posible utilizar de manera más eficiente de los recursos disponibles, esto debido a una disminución de costos generado por una reducción de hospitalizaciones no programadas. En conjunto con lo anterior, el proyecto también generará ciertos beneficios sociales que vale la pena mencionar. En primer lugar, la calidad de vida de los pacientes mejorará notablemente, permitiéndoles llevar una vida más normal y tranquila. Además, será posible atender a una mayor cantidad de personas mediante un potencial aumento de disponibilidad de camas en la UPC (Unidad de Paciente Crítico).

6.4.3. Procesos Claves

Para poder llevar a cabo lo propuesto anteriormente, se distinguen los siguientes procesos claves:

- Procesos analíticos con posibilidad de predicción para pronosticar y anticiparse de manera efectiva a las crisis de los pacientes.
- Monitoreo de indicadores claves del estado de salud del paciente para una generación oportuna de alertas preventivas.
- Protocolos preventivos de crisis para una adecuada implementación de los servicios de atención y tiempos cortos de respuesta.
- Excelente coordinación de la red asistencial de salud para así poder ejecutar de manera efectiva los protocolos preventivos de crisis.

6.4.4. Recursos Claves

Con el objetivo de ser capaces de desarrollar los procesos anteriormente definidos, es necesario disponer de los siguientes recursos claves:

- Sistemas de Información
- Sistemas de Comunicación y Coordinación
- Infraestructura Tecnológica para una adecuada transmisión de datos desde el hogar hacia el médico
- Cuerpo Médico y Personal de Apoyo

Los elementos del modelo de negocio del HEGC pueden ser descritos en la ilustración 18.



Ilustración 18: Modelo de Negocio HEGC (Elaboración propia)

7. Definición del Proyecto

Este capítulo describe los principales elementos del proyecto. Primero se define una descripción general de este, luego se abordan los objetivos y alcance del proyecto, y posteriormente se analizará los resultados esperados y la dirección de cambio de este.

7.1. Descripción General

El proyecto busca re-diseñar todos los procesos asociados al monitoreo remoto de la condición de salud del paciente, y en conjunto con esto, establecer todos los mecanismos preventivos que facilitarán una correcta coordinación entre los profesionales médicos para atender a los pacientes de manera oportuna. El proyecto puede ser resumido en los siguientes elementos:

- Determinar que indicadores son los que serán monitoreados, y como estos distintos indicadores contribuyen a caracterizar la condición de salud del paciente. Dentro de este ámbito, se desarrollarán modelos analíticos que buscarán estimar el nivel de riesgo del paciente basados en desviaciones de los signos vitales y otros parámetros del paciente.
- Diseñar la lógica asociada a la definición de alertas preventivas, y los mecanismos de notificación a los distintos profesionales médicos, en caso de detectarse alarmas preventivas.
- Diseñar la aplicación computacional de apoyo que soportará los procesos principales. Esta aplicación poseerá vistas adecuadas para que los médicos puedan visualizar tendencias en la condición de salud, y la implementación de toda la lógica asociada al desarrollo de los modelos analíticos, la detección y notificación de alertas preventivas.

7.2. Objetivos

7.2.1. Objetivo General

El hospital Exequiel González establece dentro de sus lineamientos estratégicos la entrega de un servicio de excelencia en relación a la atención hospitalaria, satisfaciendo las necesidades de calidad de vida del paciente. De acuerdo a esto y la propuesta de valor del proyecto, en donde el principal objetivo es mejorar la calidad de vida del paciente mediante un servicio preventivo, el objetivo general del proyecto puede resumirse en la siguiente frase:

“Mejorar la calidad del servicio de atención hospitalaria mediante un servicio preventivo que evite las consecuencias de una atención inoportuna en el paciente”

7.2.2. Objetivos Específicos

Con el fin de cumplir el objetivo general, a continuación se analizan los objetivos específicos del proyecto en base a cada perspectiva del mapa estratégico del hospital Exequiel González.

Perspectiva del Paciente.

- Evitar las consecuencias de un trato inoportuno mediante un monitoreo en línea de indicadores del estado del paciente capaz de gatillar acciones preventivas. Los siguientes indicadores miden el éxito en este aspecto:
 - Cantidad de hospitalizaciones y atenciones no programadas provenientes de pacientes hospitalizados en sus domicilios
 - Número de morbilidades y mortalidades derivadas de problemas respiratorios y no respiratorios en pacientes hospitalizados en sus domicilios
- Aumentar la disponibilidad de camas críticas en el hospital. El éxito en este aspecto es medido a través de:
 - Cantidad promedio de pacientes hospitalizados en UPC pertenecientes a los programas de hospitalización domiciliaria
 - Promedio de días de estada por paciente crónico
- Mejorar la calidad del servicio de atención hospitalario domiciliario. El éxito en este aspecto se mide a través de:
 - Cantidad de pacientes crónicos pertenecientes a los programas de atención domiciliaria

Perspectiva Financiera.

- Disminuir los costos asociados a hospitalizaciones no programadas. El éxito en este aspecto es medido a través de:
 - Cantidad de crisis respiratorias de alta gravedad con resultado de hospitalización en urgencia y días promedio de estada de estas crisis.

Perspectiva Procesos Clínicos y de Apoyo.

- Fortalecer la coordinación con la red asistencial de salud y fortalecer los procesos logísticos y de apoyo. El éxito es medido a través de:
 - Tiempo de respuesta ante eventuales crisis respiratorias y no respiratorias en pacientes hospitalizados en sus domicilios.

7.3. Alcance

Para ser capaz de efectuar un efectivo monitoreo a distancia de la condición de salud del paciente, que permita gatillar alarmas preventivas para así tomar acciones correctivas ante posibles complicaciones, será necesario implementar una serie de tecnologías en los domicilios de los pacientes, en conjunto con algoritmos de predicción y tecnologías móviles, para un adecuado seguimiento de la condición de salud.

En la actualidad se está ejecutando un proyecto de investigación usando fondos nacionales (Fondef) en el Departamento de Ingeniería Industrial de la U. de Chile. Este proyecto busca enfrentar de manera completa la problemática planteada anteriormente. En la ilustración 19 es posible ver un diagrama simplificado de este proyecto.

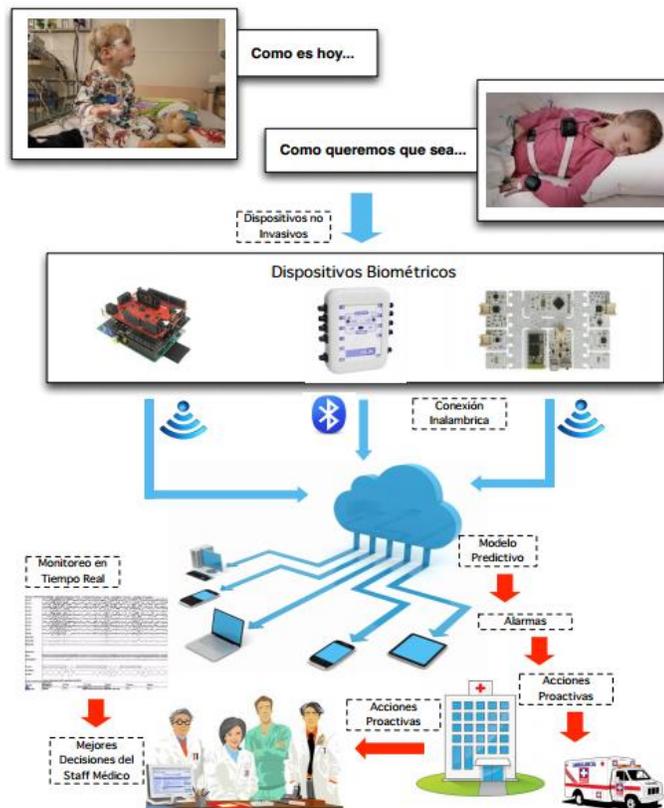


Ilustración 19: Proyecto Monitoreo Domiciliario Fondef
Fuente: Elaboración S. Ríos

Para la realización completa del proyecto de investigación, se hace necesario implementar sensores en los pacientes que permitan transmitir de manera automática sus signos vitales, en conjunto con la instalación de formularios Web, en donde los cuidadores de los pacientes puedan ingresar variables médicas relevantes que no pueden ser transmitidas a través de sensores.

De acuerdo a lo anterior, si bien el proyecto de tesis busca establecer mecanismos preventivos que busquen anticiparse ante posibles crisis, para así tomar acciones correctivas, el proyecto estará enfocado netamente en analizar los procesos que ocurren una vez que los datos ya fueron transmitidos desde el lugar del paciente, es decir, el proyecto no involucrará el estudiar las metodologías más adecuadas para determinar cómo recolectar y transmitir datos de bio-señales, este aspecto será evaluado exclusivamente por el proyecto Fondef, es decir, el presente proyecto de tesis estará principalmente enfocado en diseñar los protocolos preventivos de crisis, y establecer como poder llevar a la práctica todos aquellos mecanismos que buscan anticiparse a posibles complicaciones, una vez que los datos ya fueron transmitidos desde el hogar del paciente.

7.4. Resultados Esperados

El desarrollo de este trabajo espera el cumplimiento en los siguientes puntos:

- Desarrollo y validación del prototipo del sistema a implementar. Esta validación será realizada por profesionales médicos que actualmente están involucrados en los programas de atención domiciliaria.
- Desarrollo y validación de lógica de clasificación de riesgo. El modelo analítico a realizar será validado por médicos expertos en el ámbito y con datos reales de hospitalización.
- Conveniencia del proyecto en términos de indicadores económicos y consideraciones sociales.

7.5. Dirección de Cambio

Muchos de los niños hospitalizados en su hogares pertenecientes al HEGC, pertenecen a los programas nacionales AVI y AVNI (Asistencia Ventilatoria Invasiva y Asistencia Ventilatoria No Invasiva respectivamente). Ambos programas están regidos y controlados por el Ministerio de Salud. Por lo tanto, todos los protocolos asociados a los controles preventivos de crisis, se siguen de acuerdo a lo establecido en las comisiones AVI y AVNI de este ministerio.

Estos programas son relativamente nuevos y no existe una sofisticación ni un desarrollo adecuado para el seguimiento del estado de salud de los pacientes. El proceso de monitoreo actual sólo se realiza cuando los distintos profesionales realizan las visitas a los domicilios de los pacientes, en donde, en promedio cada paciente recibe unas 3-4 visitas por mes. Además de lo anterior, no hay una estructura adecuada para almacenar la información de las visitas a los domicilios, esta información está desordenada y presenta una baja calidad de los registros. Los médicos en base a su juicio experto y experiencia reciben los registros ingresados por los profesionales de salud que asisten a los domicilios, y en base a lo registrado analizan la información y determinan si es que es necesario realizar alguna visita no programada o un cambio en el tratamiento.

Resumiendo lo anterior, no existen protocolos estructurados en donde se realice un servicio pro-activo, es decir, que busque anticiparse a que los pacientes sufran algún tipo de problema, junto con esto, tampoco existe un sistema adecuado de seguimiento de la información, por lo tanto, la dirección de cambio buscará esencialmente cambiar la estructura del Hospital hacia un servicio integral del cliente, y en segundo lugar, estructurar y ordenar los sistemas y mecanismos de seguimiento y monitoreo a distancia de la condición de salud de los pacientes hospitalizados en su hogares.

La dirección de cambio del proyecto es analizada de acuerdo a la metodología planteada por *O. Barros* [13]. Esta se realiza de manera separada a través de 6 variables, las cuales son descritas a continuación.

7.5.1. Estructura de Mercado y Empresa

Esta es la variable de mayor impacto sobre los procesos de atención hospitalaria. Dentro de esta, las variables más relevantes son el servicio integral al cliente y el tipo de toma de decisiones. Para la primera, el posicionamiento que se ha adoptado con el proyecto es el de servicio integral al cliente, pero actualmente no existe un posicionamiento con estas características. El proyecto apuntará a realizar un monitoreo a distancia de los indicadores de salud del paciente, anticipándose a posibles complicaciones entregando un servicio integral hacia este. Para la segunda variable, se buscará apoyar la toma de decisiones descentralizadas que actualmente existen. Mediante lógica de negocios y modelos analíticos, se diseñarán protocolos preventivos de acción que en base a alertas predeterminadas apoyarán la toma de decisiones del juicio experto de los médicos.

a.	Estructura Mercado y Empresa	Actual	Propuesto
a.1.	Servicio integral al cliente.	No.	Monitorear a distancia los indicadores de salud del paciente para así conocer en todo momento el estado de salud de este, entregando un servicio integral.
a.2.	Lock-in sistémico.	No.	No.
a.3.	Integración con proveedores.	Si.	Mantener situación actual.
a.4.	Estructura interna: centralizada o descentralizada.	Parcialmente descentralizada.	Mantener situación actual.
a.5.	Toma de decisiones: centralizada o descentralizada.	Descentralizada.	Apoyar toma de decisiones descentralizadas mediante lógica de negocios y modelos analíticos. En particular, diseñar protocolos preventivos de acción que en base a alertas predeterminadas realicen una oportuna entrega del servicio hacia el paciente.

Tabla 3: Dirección de Cambio Variable Estructura de Mercado y Empresa
Fuente: Elaboración propia basada en metodología propuesta por *O. Barros*

7.5.2. Anticipación

Esta variable exige una fuerte capacidad de predicción ante ciertos eventos. Es por esto que la variable más importante dentro de la anticipación de futuros eventos tiene relación con el uso de modelos predictivos. Se propone desarrollar modelos analíticos que permitan pronosticar el riesgo de que un paciente sufra algún tipo de crisis, gatillando alertas preventivas.

Otras variables no menos importantes tienen que ver con la planificación del tratamiento domiciliario y la planificación de visitas al domicilio. Se busca formalizar el conocimiento experto para así realizar una planificación formal de la modalidad de tratamiento del paciente.

Actualmente, las visitas al domicilio del paciente tienen dos objetivos fundamentales, en primer lugar, realizar los tratamientos médicos pertinentes hacia el paciente, y en segundo lugar, controlar los indicadores de salud de este. Mediante un monitoreo a distancia de los indicadores de salud del paciente, el proyecto busca eliminar las visitas al domicilio que busquen controlar estos indicadores, pero a pesar de esto, en base a una clasificación de riesgo de la condición de salud, se propone realizar una planificación formal de las visitas al domicilio cuyo objetivo sea el de realizar un tratamiento médico hacia los pacientes.

b.	Anticipación	Actual	Propuesto
b.1.	Planificación de tratamiento domiciliario.	Existe una planificación informal.	Formalizar el conocimiento experto y realizar una planificación formal de la modalidad del tratamiento.
b.2.	Planificación de visitas al domicilio	Sólo en base al juicio experto, sin una lógica asociada.	A partir de una clasificación de riesgo de los pacientes diseñar reglas de negocio para planificar las visitas.
b.3.	Modelos predictivos del estado de salud del paciente.	No.	Desarrollar modelos analíticos que permitan diseñar reglas de negocio estableciendo alertas preventivas.

Tabla 4: Dirección de Cambio Variable Anticipación
Fuente: Elaboración propia basada en metodología propuesta por O. Barros

7.5.3. Coordinación

El proyecto intenta principalmente realizar una coordinación por colaboración, complementaria a las reglas del negocio que se buscan implementar. En primer lugar, debe existir una colaboración intensiva pero con una mayor formalización, que permita diseñar y programar el seguimiento del estado de salud de los pacientes y el diseño de acciones preventivas. En segundo lugar, se busca complementar lo anterior formalizando el conocimiento clínico de los médicos, definiendo reglas que permitan gatillar acciones preventivas a partir del estado de salud del paciente.

c.	Coordinación	Actual	Propuesto
c.1.	Reglas.	Sólo existen reglas asociadas a alarmas detectadas por los cuidadores.	Formalizar el conocimiento clínico de médicos para definir reglas que permitan gatillar acciones preventivas a partir del estado de salud del paciente.
c.2.	Jerarquía.	Jerarquía administrativa.	Mantener situación actual.
c.3.	Colaboración.	Colaboración intensiva pero un tanto informal.	Establecer un proceso colaborativo formal que permita diseñar y programar el seguimiento del estado de salud y el diseño de acciones preventivas.
c.4.	Partición.	Dividida según líneas de servicios al paciente.	Mantener situación actual.

Tabla 5: Dirección de Cambio Variable Coordinación
Fuente: Elaboración propia basada en metodología propuesta por O. Barros

7.5.4. Prácticas de Trabajo

Las variables asociadas a las prácticas de trabajo materializan y detallan las opciones explicadas anteriormente. Para un mejor entendimiento, se explicará cada variable por separado a continuación.

Automatización: Actualmente existen escasas actividades semi-automatizadas y ninguna automatizada. Se automatizarán procesos preventivos de crisis apoyados por modelos analíticos. Además, se semi-automatizarán los procesos asociados a la planificación y el monitoreo de los servicios de tratamiento domiciliarios.

Apoyo a actividades tácitas: Utilizando modelos analíticos, se realiza una clasificación de los pacientes generando un apoyo al juicio experto de los médicos.

Comunicación e integración: Se definen flujos de trabajo y sistemas de información para la planificación del servicio domiciliario, el seguimiento y actualización de este.

Medición y control: Se establecen indicadores que permiten medir el éxito del proyecto.

d.	Prácticas de Trabajo	Actual	Propuesto
d.1.	Lógica del negocio automatizada o semi-automatizada.	No existen actividades automatizadas. Escasas actividades semi-automatizadas.	Automatización de procesos preventivos de crisis. Semi-automatización de procesos de planificación y monitoreo de servicios domiciliarios.
d.2.	Lógica de apoyo a actividades tácitas.	No.	Utilizando modelos analíticos se clasificará a los pacientes generando un sistema de apoyo al juicio experto de los médicos.
d.3.	Procedimientos de comunicación e integración.	Existe un diagrama que esquematiza a grandes rasgos el servicio domiciliario.	Definición de flujos de trabajo y sistemas de información para la planificación del servicio domiciliario, el seguimiento y actualización de la información de este.
d.4.	Lógica y procedimientos de medición de desempeño y control.	No.	Definición de indicadores para medir el éxito del proyecto.

Tabla 6: Dirección de Cambio Variable Prácticas de Trabajo
Fuente: Elaboración propia basada en metodología propuesta por O. Barros

7.5.5. Integración de Procesos Conexos

El proyecto busca re-diseñar sólo el macro-proceso asociado a la cadena de valor de atención cerrada domiciliaria, y dentro de este macro-proceso, se abordan varios procesos asociados al tratamiento domiciliario, específicamente los asociados a la gestión del servicio y a la entrega de este.

e.	Integración de Procesos Conexos	Actual	Propuesto
e.1.	Proceso aislado.	No.	El proyecto aborda varios procesos del servicio de hospitalización en el domicilio.
e.2.	Todos o la mayor parte de los procesos de un macro-proceso.	Si.	Se abordan varios procesos de atención cerrada.
e.3.	Dos o más macros que interactúan.	Si.	No. El proyecto no pretende abordar varias macros.

Tabla 7: Dirección de Cambio Variable Integración de Procesos Conexos
Fuente: Elaboración propia basada en metodología propuesta por *O. Barros*

7.5.6. Mantención Consolidada de Estado

Para poder cumplir con todo lo propuesto anteriormente, en primer lugar, es necesario generar nueva información relacionada con el estado de salud de los pacientes y los resultados de los modelos analíticos. Esta información debe ser almacenada en bases de datos propias del hospital.

Con el propósito de entrenar continuamente los modelos predictivos, es necesario contar con la información nueva almacenada, y además, es de vital importancia contar con la información histórica de los pacientes, información contenida en las bases de datos del Ministerio de Salud, por lo tanto, se deberán integrar los datos contenidos en las bases de datos de este ministerio.

f.	Mantención Consolidada de Estado	Actual	Propuesto
f.1.	Datos propios.	No.	Si. Generar nueva información que debe ser almacenada en bases de datos propias.
f.2.	Integración con datos de otros sistemas de la empresa.	No.	Mantener situación actual.
f.3.	Integración con datos de sistemas de otras empresas.	No.	Si. Se busca integrar la información histórica de los pacientes contenida en las bases de datos del Ministerio de Salud.

Tabla 8: Dirección de Cambio Variable Mantención Consolidada de Estado
Fuente: Elaboración propia basada en metodología propuesta por *O. Barros*

8. Arquitectura de Procesos Atención Cerrada Domiciliaria

Este capítulo aborda la estructura de procesos de la cadena de atención cerrada domiciliaria. En primer lugar, se describe la estructura macro de estos procesos, para luego explicar con mayor detalle el re-diseño de procesos con notación IDEF0 y BPMN.

8.1. Arquitectura de Macro-Procesos de un Hospital

Para la realización de la arquitectura de macro procesos de un hospital, se siguió la misma metodología utilizada por los docentes *O. Barros* y *C. Julio* [43]. Ellos analizaron la estructura de varios hospitales en Chile, generalizando su estructura de macro-procesos, como se ilustra en la ilustración 20.

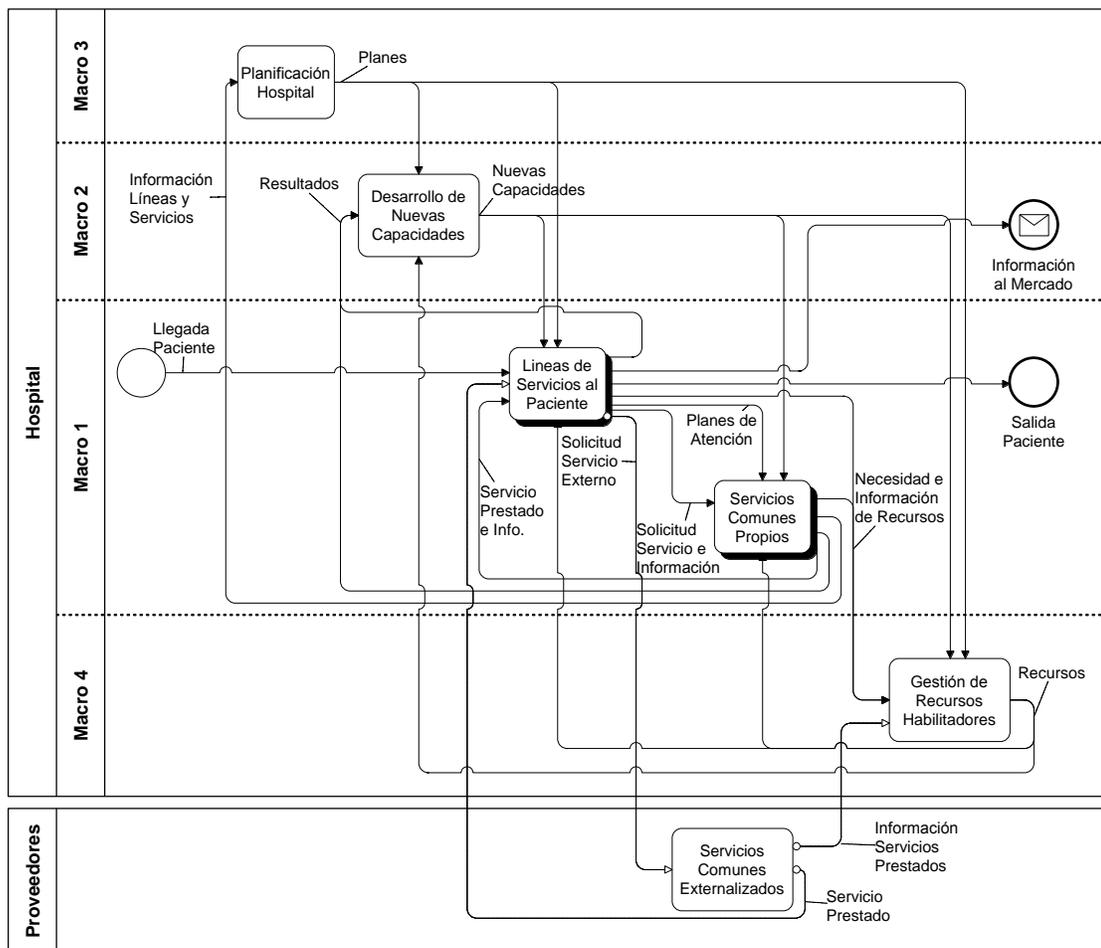


Ilustración 20: Estructura Macro-Procesos Hospitalares
Fuente: Patrones de Arquitecturas *O. Barros* y *C. Julio* [43]

Dentro de los patrones establecidos por *O. Barros y C. Julio* [16], en la ilustración 20 se aprecia una especialización de estos patrones en hospitales. A continuación se realizará una breve descripción de cada macro-proceso.

Macro 1 (Cadena de Valor): Conjunto de procesos que ejecuta la producción de los bienes y/o servicios de la empresa, el cual considera toda la interacción con el cliente para generar requerimientos hasta que estos han sido satisfactoriamente satisfechos. En los hospitales es posible detectar dos macro-procesos dentro de Macro 1. El primero, corresponde al de *“Líneas de Servicios al Paciente”*, que consiste en las áreas donde los pacientes pueden interactuar con el hospital, es decir, la atención de urgencia, atención ambulatoria electiva, atención cerrada, y oferta de otros servicios.

Macro 2 (Desarrollo de Nuevas Capacidades): Conjunto de procesos que desarrollan las nuevas capacidades que la organización requiere para ser competitiva: nuevos productos y/o servicios; infraestructura necesaria para poder producir y operar; y los nuevos procesos de negocios que aseguren efectividad operacional y creación de valor hacia los clientes, o pacientes en el caso de hospitales.

Macro 3 (Planificación del Negocio): Planificación del negocio que comprende el conjunto de procesos necesarios para definir el curso futuro de la organización en la forma de estrategias, que se materializan en planes y programas.

Macro 4 (Gestión de Recursos): Conjunto de procesos de apoyo que manejan los recursos necesarios para que los anteriores procesos operen. En general, en las organizaciones existen procesos comunes de apoyo para recursos financieros, humanos, infraestructura y materiales.

El proyecto está enfocado en la Macro 1, específicamente en el proceso de *Líneas de Servicios al Paciente*. Dentro de esta cadena de valor existe una serie de procesos generales para los hospitales, establecidos por *O. Barros y C. Julio* [43], estos pueden apreciarse en la ilustración 21. Los distintos servicios serán explicados a continuación.

Servicio de Emergencia: Atiende a pacientes no-electivos, es decir, que necesitan atención médica de urgencia, y como consecuencia, no puede ser programada de antemano. Cada paciente que llega a esta línea de servicio es categorizado de acuerdo a su gravedad, para que los pacientes más graves reciban una atención primero. En este servicio los pacientes pueden ser referidos a cualquiera de las otras líneas de servicio, en caso de que necesite ser hospitalizado o requiera atención médica especializada.

Servicio Electivo Ambulatorio: Atiende pacientes electivos, es decir, aquellos cuya atención médica puede ser anticipada y programada de antemano. En esta línea, toma lugar la consulta médica, y otros procedimientos son desarrollados.

Servicio de Hospitalización o Atención Cerrada: Atiende pacientes electivos y no electivos que deben ser hospitalizados, ya sea para prepararlos para una recuperación de una cirugía o procedimiento o para internarlos para estos procedimientos.

En adición a las líneas de servicios mencionadas, otros servicios complementarios pueden ser ofrecidos a los pacientes, por ejemplo, planes de salud para perfiles específicos. Esto toma lugar en *Línea de Oferta de Otros Servicios*, servicio que son típicamente encontrados en el sistema de salud privado.

El proceso de Análisis y Gestión de Demanda es definido como un proceso compartido para todas las líneas de servicios. Este proceso captura la naturaleza de la demanda, y permite a las distintas líneas de servicios preparar sus recursos para atender tal demanda.

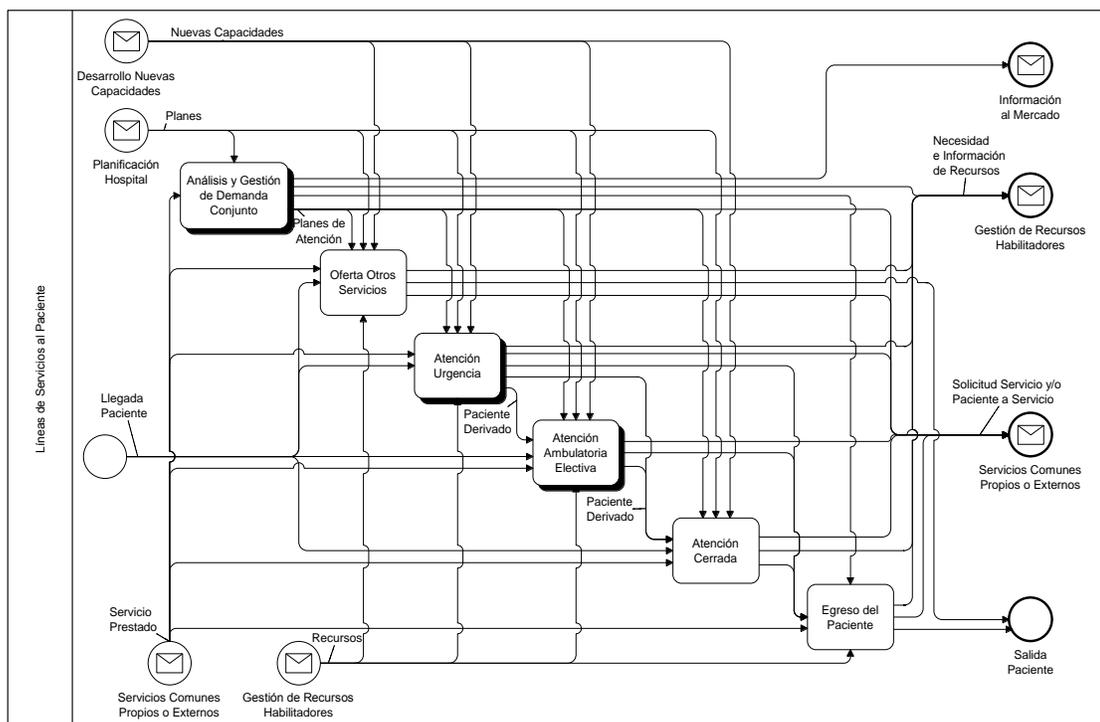


Ilustración 21: Líneas de Servicios al Paciente
Fuente: Patrones de Arquitecturas O. Barros y C. Julio [43]

Analizado lo anterior, los principales procesos involucrados en el proyecto están directamente relacionados con el contexto de hospitalización del paciente, por lo tanto, el proyecto estará enfocado esencialmente en el sub-proceso de **Atención Cerrada o Hospitalización**, específicamente en el proceso de **Atención Cerrada Domiciliaria**, es decir, se concentrará sólo en aquella hospitalización vinculada a aquellos pacientes crónicos pertenecientes a los programas de atención en el domicilio.

8.2. Re-Diseño de Procesos

El foco del proyecto está concentrado en la realización de modelos analíticos que tomando como base los indicadores de salud del paciente, logren realizar un pronóstico del estado de salud de este. Además esto, es fundamental contar con una lógica detallada de procesos que logren llevar a cabo lo anterior.

Actualmente, en el hospital muchas de las decisiones dependen del juicio experto de los médicos y no existe una planificación formal del tratamiento domiciliario, es por esto que el re-diseño también estará enfocado a diseñar reglas de negocio que formalicen el conocimiento experto. A continuación se detallará el re-diseño asociado a la atención cerrada del Hospital Exequiel González Cortés.

Dentro de la estructura de macro-procesos, el proyecto busca re-diseñar el proceso de atención cerrada del Hospital, dentro de este macro-proceso, existen varias cadenas de valor, dentro de las cuales es posible mencionar las siguientes:

Patologías Básicas y Agudas: Hospitalizaciones de períodos cortos, en pacientes que por lo general provienen de atención ambulatoria (patologías básicas), o pacientes con una hospitalización programada debido a una patología específica (patología aguda). En estos últimos pacientes, independiente de la gravedad de la patología, la patología presenta un claro inicio y fin.

Unidad de Paciente Crítico (UPC): Hospitalización destinada hacia aquellos pacientes gravemente enfermos, o con posibilidades de evolucionar a la gravedad, así como también hacia aquellos pacientes que son sometidos a cirugías de mayor riesgo y, que por lo tanto, requieren una observación más estricta de sus funciones vitales.

Atención Cerrada Domiciliaria: Hospitalización destinada a aquellos pacientes con enfermedades crónicas, los cuales dentro de su gravedad presentan una evolución en el tiempo relativamente estable. Estos pacientes presentan un seguimiento de salud distinto al resto de los pacientes, además de esto, los cuidados y acciones preventivas son procesos distintos a los de aquellos pacientes afectados por patologías básicas o agudas, o aquellos hospitalizados en la UPC.

A continuación, se explica de manera detallada el re-diseño de procesos asociado al proceso de *Atención Cerrada Domiciliaria*.

8.2.1. Atención Cerrada Domiciliaria

Este proceso corresponde a una *Macro 1*, es decir, un proceso de cadena de valor dentro de una organización. De acuerdo a *O. Barros y C. Julio* [16], toda cadena de valor posee una estructura similar en términos de arquitectura de procesos. En primer lugar, existe un proceso asociado a la administración de la relación con los proveedores, este administra aquel proceso relacionado con los insumos necesarios para la producción. En segundo lugar, un proceso asociado a la administración de la relación con el cliente, que en el caso de hospitales sería principalmente el paciente. En tercer lugar, una gestión de la producción o servicio, encargado de planificar la capacidad y gestionar una correcta administración del servicio entregado. Por último, el proceso encargado de producción y entrega del servicio o producto hacia el cliente o usuario final.

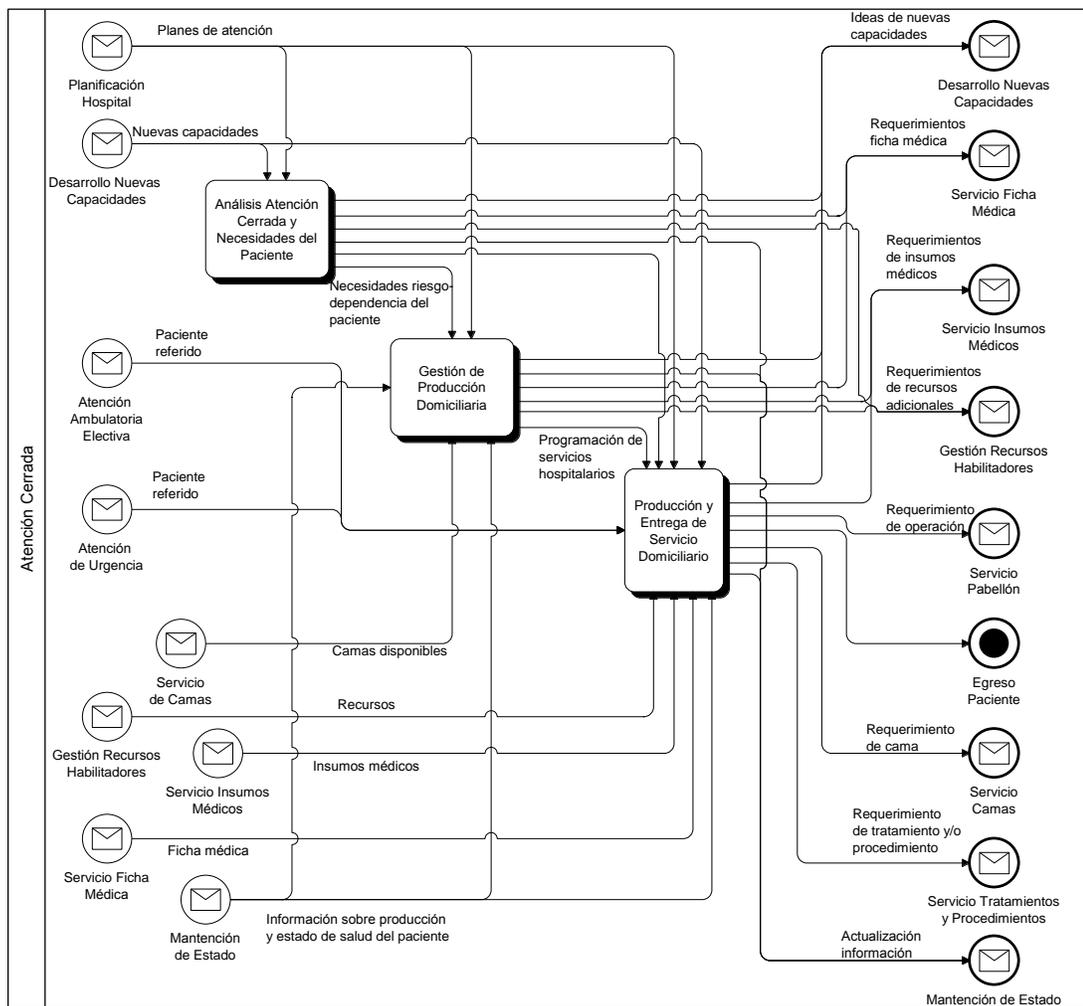


Ilustración 22: Atención Cerrada Domiciliaria
Fuente: Elaboración propia a partir de patrones propuestos por O. Barros y C. Julio [16]

Para el caso de la cadena de valor de *Atención Cerrada Domiciliaria*, la administración de la relación con los proveedores, que principalmente gestiona la compra y distribución de los insumos médicos, es una administración global hacia todas las líneas de servicios del hospital, por lo tanto, esta se factoriza y no forma parte de la cadena de valor de *Atención Cerrada Domiciliaria*.

La administración de la relación con el paciente, encargada de capturar los requerimientos de este y luego gestionar esta relación, se sub-especializa en el *Análisis de la Atención Domiciliaria y de las Necesidades del Paciente*. Su principal función es la de determinar la riesgo-dependencia de los pacientes para efectos de sus tratamientos futuros. Este sub-proceso no se desarrollará con mayor profundidad debido a que el foco del proyecto es en los procesos de *Gestión de la Producción Domiciliaria* y la *Producción y Entrega del Servicio Domiciliario*.

En el proceso de *Gestión de la Producción Domiciliaria*, actividad principalmente de gestión, se realiza un análisis del comportamiento de los pacientes, en donde toman especial énfasis los modelos analíticos. En este paso se clasifica a los pacientes en distintos grupos de comportamiento, en conjunto con el desarrollo de modelos predictivos que realizarán una clasificación del nivel de riesgo de los pacientes. Luego, se realiza la planificación del tratamiento domiciliario, actividad encargada de caracterizar a los pacientes en base a su patología y gravedad de esta, y de programar sus controles domiciliarios. Finalmente, se realiza el monitoreo de la efectividad del tratamiento domiciliario.

El proceso de *Producción y Entrega del Servicio Domiciliario* realiza de manera conjunta varias actividades. En primer lugar, el proceso que se desarrolla de manera implícita y de manera totalmente automatizada, es el control realizado por el sistema. Acá se capturan los datos provenientes del hogar, y se ejecutan las lógicas asociadas a la caracterización de riesgo y notificación de alertas preventivas. El proceso anterior es el encargado de gatillar alertas preventivas, y una vez gatilladas, estas son analizadas por el equipo multidisciplinario, quienes determinan si es necesario realizar una acción correctiva. Además de esto, se encuentra el proceso de atención realizado por el cuidador, y otros controles realizados por el equipo médico. En esta última línea, existen básicamente dos tipos de controles, el primero, es el servicio en el domicilio, en donde actores como kinesiólogos, enfermeras y médicos realizan un tratamiento y control del paciente en el domicilio, el segundo, corresponde a una atención prestada directamente en el hospital cuyo objetivo es realizar un control más prolongado a tiempo continuo de los indicadores de salud del paciente.

8.2.1.1. Gestión de Producción Domiciliaria

De acuerdo a la estructura planteada por *O. Barros y C. Julio* [16], el proceso de gestión de la producción comienza con la actividad de planificación de capacidad. Para el caso del proceso de *Atención Cerrada Domiciliaria*, no existe un proceso exclusivo para esta cadena de valor, ya que la planificación de la capacidad se realiza de manera global en el hospital, es decir, se planifica la capacidad para todos los tipos de hospitalizaciones, por lo tanto, este proceso se factoriza y no forma parte de la *Gestión de Producción Domiciliaria*.

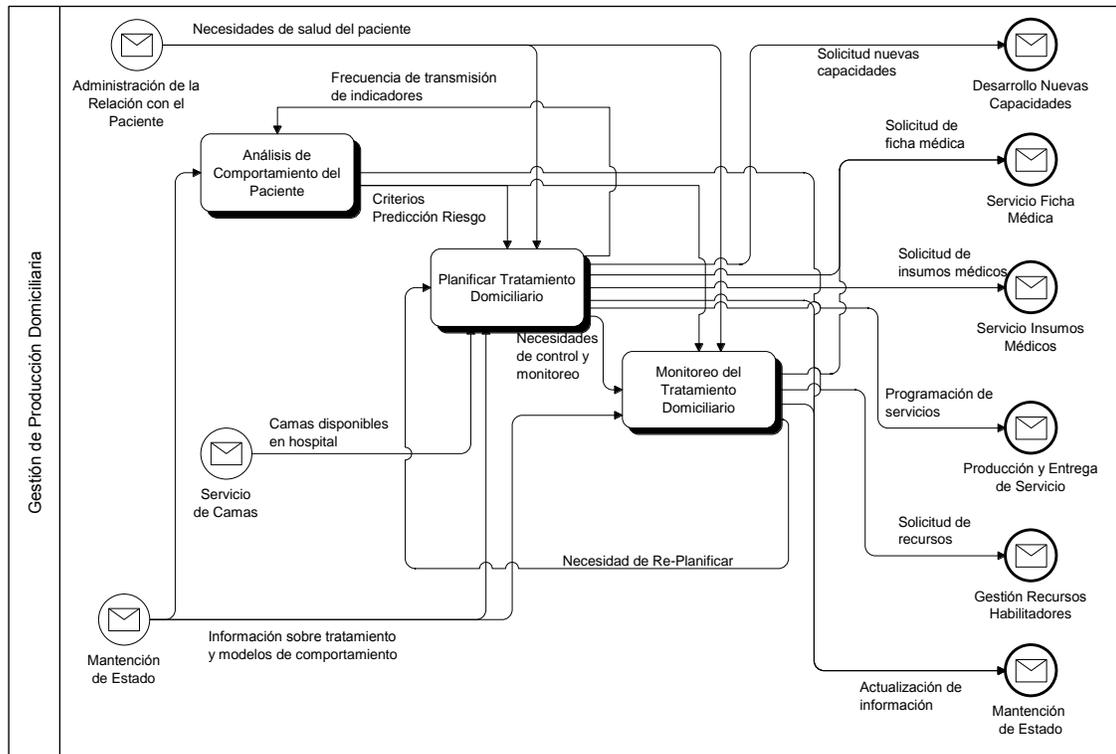


Ilustración 23: Gestión de Producción Domiciliaria

Fuente: Elaboración propia a partir de patrones propuestos por *O. Barros y C. Julio* [16]

En la ilustración 23 se puede apreciar el macro-proceso de *Gestión de Producción Domiciliaria*. En primer lugar, se realiza el *Análisis del Comportamiento del Paciente*, si bien esta actividad suele estar asociada al proceso de administración de la relación con el cliente, en este caso, este proceso presenta una directa incidencia con los procesos de monitoreo, planificación del servicio y el proceso asociado a alertas preventivas. Por lo tanto, para un mejor entendimiento del proceso global se considera que esta actividad está íntimamente relacionada con la *Gestión de Producción Domiciliaria*. Este proceso de análisis de comportamiento prepara los datos históricos de los pacientes hospitalizados, luego de manera paralela se realiza el modelo de segmentación y de predicción de crisis. El primer modelo tiene el objetivo de definir los distintos grupos de pacientes, segmentados por su comportamiento en el tiempo de sus signos vitales y otros parámetros, y el segundo modelo, en base a modelos analíticos de inteligencia artificial, busca realizar un pronóstico del riesgo de crisis clasificando el

nivel de riesgo a partir de los signos vitales del paciente, utilizando como base el criterio experto entregado por el médico. Finalmente, se realiza la mantención de los modelos en el tiempo, esta actividad analiza los datos de los pacientes y como su comportamiento va cambiando en el tiempo, evaluando una posible obsolescencia de los modelos anteriormente realizados.

En segundo lugar, se realiza la *Planificación del Tratamiento Domiciliario*. Dentro de esta actividad se ejecuta un exhaustivo análisis de la patología del paciente, y se establecen los protocolos asociados para su ingreso al programa de atención domiciliaria. Luego, se determina la modalidad de tratamiento, esta actividad es responsable de los médicos encargados del paciente, cuyo propósito es el de determinar los parámetros asociados a la ventilación mecánica, el oxígeno necesario y otros parámetros relacionados con la condición médica del paciente, para así establecer el tipo de tratamiento que se le efectuará en el domicilio. Finalmente, se realiza la programación del tratamiento domiciliario en base a los parámetros de la modalidad de tratamiento y la evaluación de la patología del paciente.

Por último, se realiza el monitoreo del tratamiento domiciliario, este monitoreo presenta dos tipos de seguimientos, el primero y el más importante, el monitoreo que realiza el equipo multidisciplinario encargado del paciente. En este paso se evaluará la efectividad del tratamiento, y como este incide en una evolución en la condición de salud del paciente. El segundo, tiene que ver con el monitoreo de las alertas preventivas gatilladas por el sistema. Este proceso analizará la efectividad de las alertas emitidas, analizando aquellas variables que gatillan una efectiva acción posterior por parte del equipo médico.

8.2.1.1.1. Análisis de Comportamiento del Paciente

En este subproceso existen dos actividades centrales, la primera, que consiste en el desarrollo del modelo de caracterización de pacientes, que clasifica a los pacientes en distintos grupos, y la segunda, que es el desarrollo del modelo predictivo de riesgo de crisis, más dos actividades de apoyo pero no menos importantes, que son las de preparación de datos y de mantención de modelos en el tiempo.

Dentro de *Análisis de Comportamiento del Paciente*, la primera actividad corresponde al proceso de preparación de datos de los pacientes, que es alimentado por la mantención de estado. La mantención de estado tiene como objetivo alimentar con datos transmitidos diariamente desde los domicilios de los pacientes, y con datos obtenidos de otros repositorios que determinan el estado de salud. Luego se registra toda la información histórica de los pacientes, además de esto, se realizan los primeros filtros considerando sólo la información relevante para análisis. Por otra parte, es posible que muchos de los datos registrados presenten errores o inconsistencias, como valores vacíos, valores fuera de rango, etc. El proceso de preparación de datos de los pacientes también tiene como objetivo limpiar todos aquellos registros que presenten algún tipo de inconsistencia.

Los pacientes que actualmente están hospitalizados presentan patologías muy especiales, enfermedades crónicas relacionadas con problemas neuromusculares y de la vía respiratoria, por lo que los criterios para evaluar los indicadores de salud de los pacientes no pueden ser iguales para todos. La segunda actividad, estará esencialmente enfocada a encontrar pacientes con comportamientos similares en el tiempo. Analizando visualmente los datos y usando como base el criterio experto de médicos, se segmentará a los pacientes en grupos en base al comportamiento de sus signos vitales, en conjunto con sus características fisiológicas y lo establecido en la literatura médica. El detalle de este modelo será analizado posteriormente con un diagrama de pista con notación BPMN.

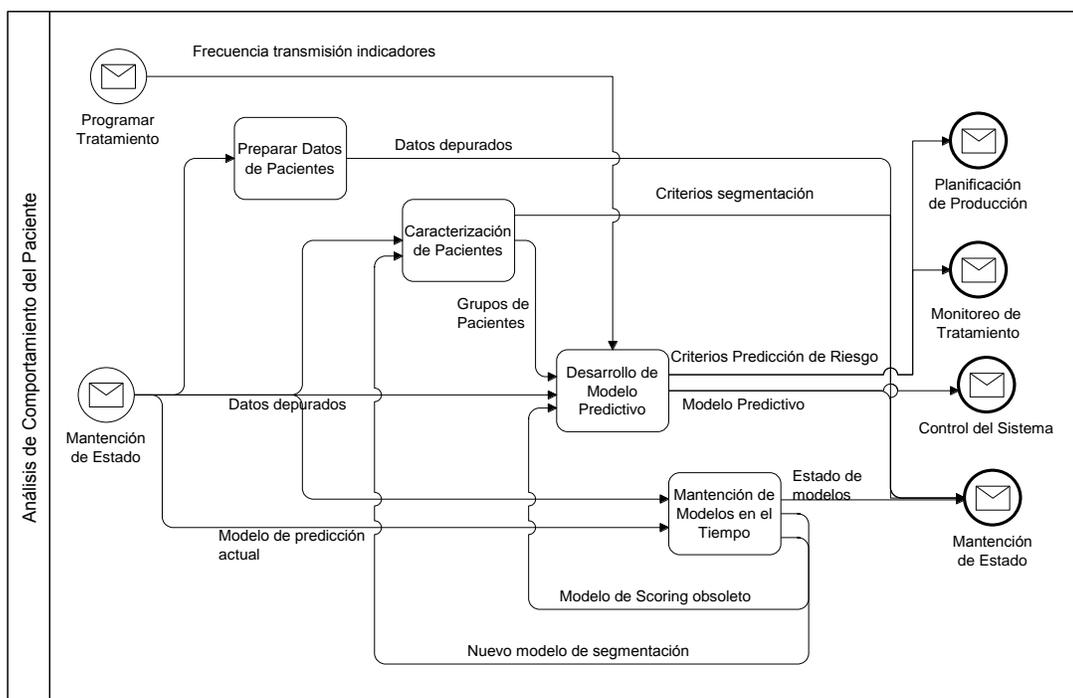


Ilustración 24: Análisis del Comportamiento del Paciente
Fuente: Elaboración propia a partir de patrones propuestos por O. Barros y C. Julio [16]

La tercera actividad corresponde a la realización del modelo predictivo del riesgo de los pacientes. Como fue explicado anteriormente, este modelo está basado en la utilización de lógica difusa, en donde se intenta modelar un razonamiento de inteligencia artificial. El objetivo de este modelo es emular el complejo criterio experto del médico para diagnosticar posibles complicaciones de salud. Este modelo es explicado con mayor detalle en el capítulo 9.

Por último, se tiene la actividad de mantenimiento de modelos en el tiempo. La función de esta actividad es revisar de manera periódica el comportamiento de los pacientes y los resultados de los modelos analíticos, verificando una posible obsolescencia de los modelos o una modificación en los parámetros de entrada. Esta actividad requiere de una lógica más detallada que será explicada a continuación a través de un diagrama de pista con notación BPMN.

8.2.1.1.1.1. Caracterización de Pacientes

Dado que los pacientes que se quiere analizar presentan características que no son similares, es decir, sus signos vitales en estado “normal” no son los mismos para todos, y en algunos casos existen diferencias significativas, es que la siguiente actividad tiene por objetivo segmentar aquellos grupos de pacientes que presentan un comportamiento similar dentro de cada grupo.

En primer lugar, el equipo multidisciplinario debe establecer cuáles son los rangos etarios que deben considerarse, en conjunto con una clasificación del tipo de la patología de cada paciente.

Posteriormente se realiza un análisis visual de los datos, evaluando el comportamiento de los pacientes con distintos tipo de apoyo ventilatorio, para cada grupo. Cada grupo está compuesto basado en la clasificación realizada previamente.

Finalmente se valida la generación de cada segmento, y se establecen los rangos referenciales de los indicadores de salud, para cada grupo de pacientes.

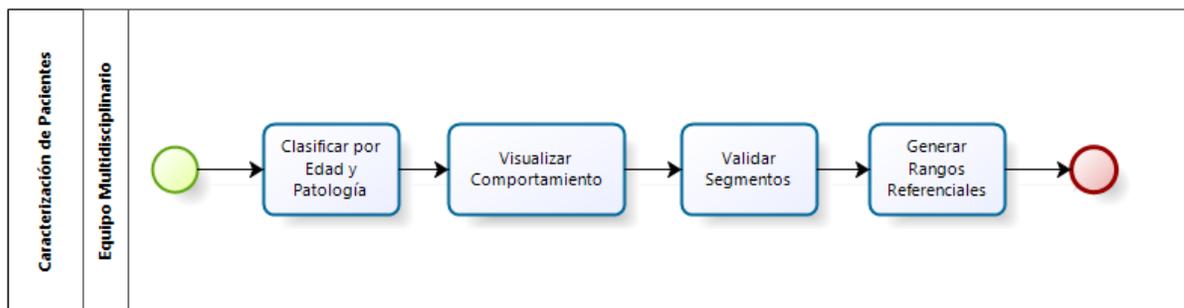


Ilustración 25: Caracterización de Pacientes (Elaboración propia)

8.2.1.1.1.2. Mantención de Modelo Predictivo en el Tiempo

El principal objetivo de la mantención del modelo de caracterización de grupos es verificar que los pacientes hayan mantenido un comportamiento estable en el tiempo. Para esto se deberá realizar lo siguiente.

Evaluar Estabilidad Poblacional: Esta evaluación establecerá aquellos indicadores a analizar para determinar si la población del modelo ha cambiado significativamente. Como se mencionó antes, los indicadores importantes a evaluar son los indicadores basales de los pacientes, y los indicadores que definen las crisis respiratorias. Otra medida importante es la variación en el tiempo de los indicadores de salud de los pacientes cuando estos están en períodos estables y hospitalizados. Para todo lo anterior, se definen cuatro indicadores.

\bar{E}_{itk} = Promedio del signo vital i , en el periodo t , del paciente k en estado "Estable"

\bar{C}_{itk} = Promedio del signo vital i , en el periodo t , del paciente k en estado de "Crisis"

\overline{DE}_{itk} = Desviación Standard del signo vital i , en el periodo t , del paciente k en estado "Estable"

\overline{DC}_{itk} = Desviación Standard del signo vital i , en el periodo t , del paciente k en estado de "Crisis"

Analizar Estabilidad Poblacional: El analista deberá analizar si las variables recién establecidas son estadísticamente distintas entre el periodo t evaluado y el periodo $t-1$. Para esto, se deberá realizar un test t de diferencia de medias, con un intervalo de confianza de un 5%. El indicador a evaluar será el p-valor, de ser este menor a 5%, las medias son estadísticamente distintas. Luego de realizar esto para todos los atributos, el analista deberá filtrar aquellos atributos cuyos p-valor fueron menores a 5%, para estos atributos deberá analizar si realmente las medias son distintas, o si es que estas estaban al límite estadísticamente y no existen diferencias significativas. De existir una cantidad considerable de pacientes en donde su comportamiento no sólo sea estadísticamente distinto, sino que sus indicadores basales presenten diferencias significativas consideradas por el analista, se deberán re-calcular los segmentos de pacientes en el modelo de segmentación.

Para el caso del modelo del modelo predictivo, se debe proceder en base a la lógica mostrada en la ilustración N° 26.

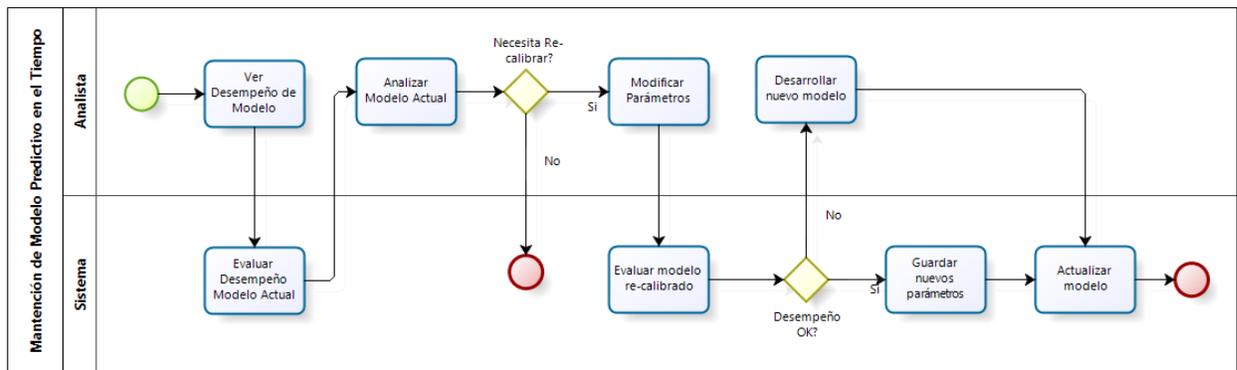


Ilustración 26: Mantención Modelo Predictivo (Elaboración propia)

Evaluar Desempeño Modelo Actual: Luego de que el analista solicite la evaluación del modelo al sistema, se deberán realizar las siguientes evaluaciones con el objetivo de determinar si el desempeño del modelo actual ha empeorado.

Análisis Univariado: El objetivo de este paso es analizar si las variables siguen siendo útiles para el modelo de predictivo. Para esto, se deberán realizar dos tipos de evaluaciones:

La primera, para determinar si las variables a evaluar pueden discriminar entre registros “Estables” y “Crisis”, pruebas estadísticas de Kolmogorov Smirnov (K-S) para variables continuas y de Chi-cuadrado de Pearson para variables ordinales.

La segunda tiene que ver con las correlaciones, en primer lugar, se deberá determinar la correlación de las variables independientes versus la variable objetivo, y en segundo lugar, se deberá determinar la correlación entre las variables independientes.

Capacidad Predictiva: Se deberá cuantificar la capacidad predictiva del modelo utilizando los parámetros que fueron seleccionados en el período $t-1$. Debido a que no es posible determinar a priori la capacidad predictiva de una asignación de puntaje, el analista deberá validar que los rangos de puntaje establecidos en el desarrollo del modelo aún sigan discriminando aquellos periodos en donde existen problemas de salud asociados a crisis respiratorias, y aquellos periodos en donde existe una clara estabilidad en el paciente.

Posteriormente, se deberán cambiar los parámetros del modelo hasta encontrar un resultado que sea considerado como aceptable o bueno por el analista. Luego el analista evaluará su desempeño en términos de su capacidad predictiva, si considera que el desempeño es aceptable, se guardarán los nuevos parámetros ingresados y se actualizará el modelo. De considerar que el desempeño no es aceptable, el analista deberá proceder a desarrollar un modelo distinto de predicción.

8.2.1.1.2. Planificar Tratamiento Domiciliario

Para realizar la *Planificación del Tratamiento Domiciliario*, en primer lugar, se debe evaluar la patología de cada paciente y realizar los protocolos necesarios para el ingreso de este al sistema de tratamiento a distancia. Esta actividad presenta una lógica más detallada la cual es explicada posteriormente a través de diagramas BPMN.

El segundo paso para *Planificar el Tratamiento Domiciliario* tiene relación con la modalidad del tratamiento en el domicilio. Por modalidad de tratamiento se entiende como la asignación de parámetros médicos hacia el paciente, es decir, establecer si es necesario que el paciente utilice una mascarilla de oxígeno, ventilación mecánica invasiva o no invasiva, determinar los parámetros asociados al ventilador y el oxígeno a administrar en el domicilio, y cuál debe ser la frecuencia de uso por parte del paciente, entre otros parámetros.

8.2.1.1.2.1. Ingreso y Evaluación de Patología

Para el caso de que un paciente sea nuevo, este proceso indica las actividades relacionadas al ingreso del paciente a los programas de atención domiciliaria. En primer lugar, el médico broncopulmonar encargado debe postular al paciente al programa, luego de manera paralela la asistente social realiza una evaluación de las condiciones sociales del hogar, y el equipo multidisciplinario a cargo realiza una evaluación del paciente de acuerdo a su patología. Una vez que ambas evaluaciones hayan resultado exitosas, se debe evaluar los indicadores de salud del paciente, junto con estimar la evolución de la enfermedad en el mediano y corto plazo, esto para posteriormente estimar los parámetros de oxígeno y tipo de ventilación. En la ilustración 28 se puede apreciar la secuencia de actividades asociadas a este proceso.

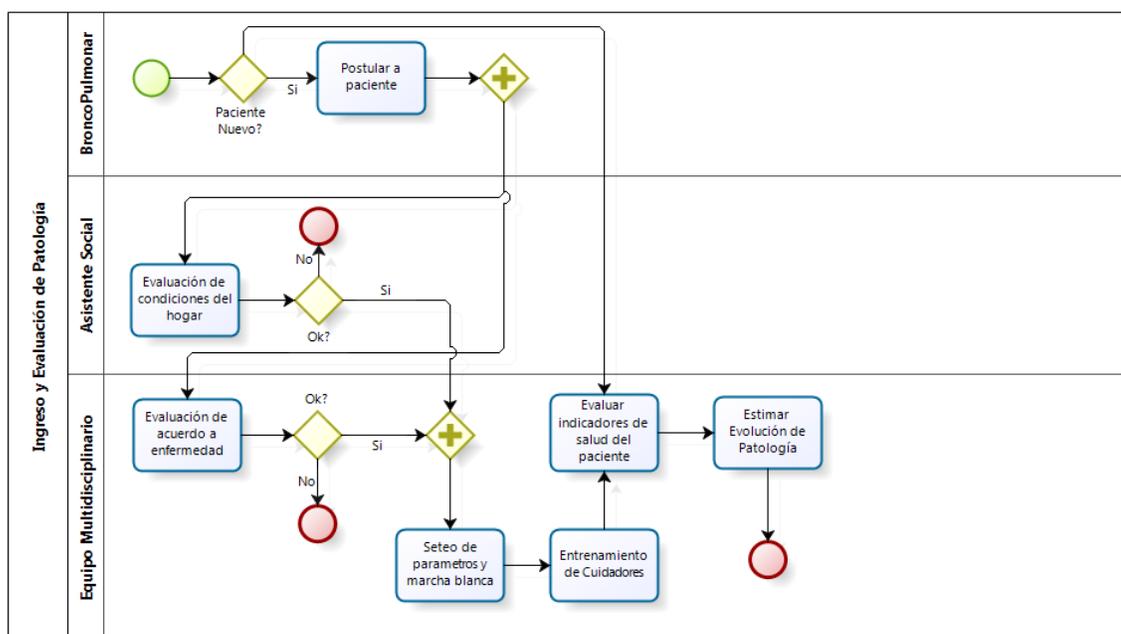


Ilustración 28: Ingreso y Evaluación de Patología (Elaboración propia)

8.2.1.1.2.2. Programar Tratamiento

Esta actividad tiene dos objetivos principales, el primero, establecer la necesidad de controles en el domicilio que debe tener el paciente por parte del personal médico, ya que dependiendo de la patología y gravedad, el personal destinado a ejercer los tratamientos y/o controles en el domicilio puede no ser el mismo para todos los pacientes. El segundo objetivo, es dejar registrado en el sistema todos aquellos parámetros necesarios para llevar un correcto seguimiento a distancia de los indicadores del estado de salud del paciente, y también para una efectiva notificación de las alertas preventivas, cuando estas sean generadas.

En primer lugar, como se explicó recientemente, se determina la necesidad de control que tienen los pacientes en el domicilio por parte de distintos profesionales de

salud, por ejemplo, controles de la enfermera, tratamientos kinesiológicos por parte del kinesiólogo, y otros tipos de controles por parte del médico tratante. Luego, se deberá asignar los recursos médicos establecidos para cada paciente en el sistema, así como también los turnos de cada profesional de salud, de esta manera se tendrá registrado en el sistema el momento en que cada médico se encuentra disponible, con el objetivo de notificar a aquel actor cuando el sistema determina que se gatilla alguna alerta preventiva. Posteriormente, se establece la frecuencia de los controles del equipo médico encargado del paciente, y la frecuencia necesaria de transmisión de cada indicador. Esto último es importante especificar ya que dependiendo de la gravedad de cada paciente y de su patología, la frecuencia necesaria para monitorear los indicadores será distinta. Además de esto, esta frecuencia sirve como variable de control para el modelo predictivo de crisis, ya que una de las variables a analizar para la clasificación de riesgo de salud es la frecuencia necesaria de transmisión de los indicadores del estado de salud.

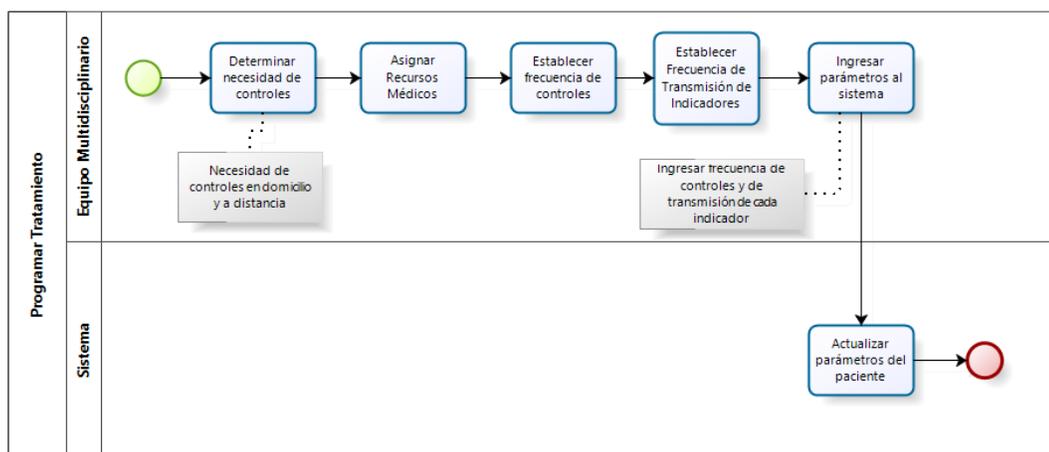


Ilustración 29: Programar Tratamiento (Elaboración propia)

A continuación se presentan los indicadores que serán monitoreados a distancia, con qué frecuencia en promedio deberían ser monitoreados y la forma en que serán capturados sus datos.

Los siguientes cuatro indicadores son aspectos cuantitativos asociados a la condición vital del paciente. En el mercado si existen dispositivos que posibilitan su transmisión automática, por lo tanto, estos pueden medirse utilizando dispositivos biométricos sin la necesidad de intermediación por parte del cuidador. La frecuencia con que estos son transmitidos es en promedio tres veces durante el día, y dos veces durante la noche.

- Temperatura
- Frecuencia Cardíaca

- Frecuencia Respiratoria
- Saturación de Oxígeno

8.2.1.1.3. Monitoreo del Tratamiento Domiciliario

El *Monitoreo del Tratamiento Domiciliario* consta de dos procesos de monitoreo. El primero, encargado del equipo multidisciplinario, que tiene como principal función monitorear la efectividad del tratamiento en el domicilio, es decir, que la planificación del tratamiento en el domicilio genere una evolución favorable en la condición de salud del paciente, y además de esto, que las mejoras en el tratamiento se vean reflejadas en la percepción del servicio del paciente.

El segundo proceso tiene que ver con monitorear cuan efectivas son las alertas gatilladas por el sistema, es decir, determinar si las alertas que se generan efectivamente producen acciones preventivas hacia el paciente. Este monitoreo permite visualizar la cantidad de alertas que son descartadas por los médicos, en relación al total de alertas generadas. De ser muy alto el porcentaje de alertas descartadas, se puede determinar cuáles son las variables que caracterizan estas alertas, con el objetivo de mejorar el proceso preventivo evitando la generación de falsas alarmas, y aumentando la generación de verdaderas alarmas.

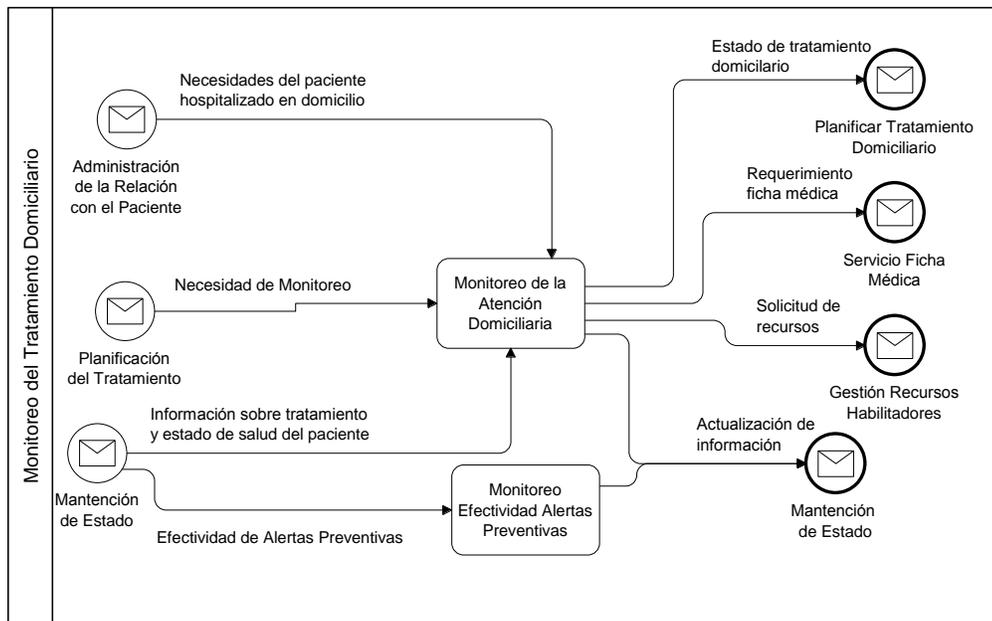


Ilustración 30: Monitoreo del Tratamiento Domiciliario (Elaboración propia)

8.2.1.2. Producción y Entrega de Servicio Domiciliario

En este proceso se llevan a cabo los planes y programas establecidos en la *Gestión de la Producción Domiciliaria*. Dentro de la *Producción y Entrega de Servicio*, se encuentran dos tipos de procesos. El primero, encargado de capturar de manera constante los datos del paciente, que se llamara “**Control del Sistema**”. Este proceso además de capturar los datos, ejecuta la lógica de clasificación de riesgo y de notificación de alertas preventivas. Este proceso es explicado posteriormente con más detalle en la ilustración 32.

Dentro del segundo proceso, que será llamado “**Atenciones Hospitalización Domiciliaria**”, existen básicamente tres tipos de atención: controles en domicilio por los profesionales de salud, control realizado por el cuidador del paciente, y el control realizado en el hospital. En la ilustración 31 se aprecia el proceso general de *Producción y Entrega de Servicio Domiciliario*.

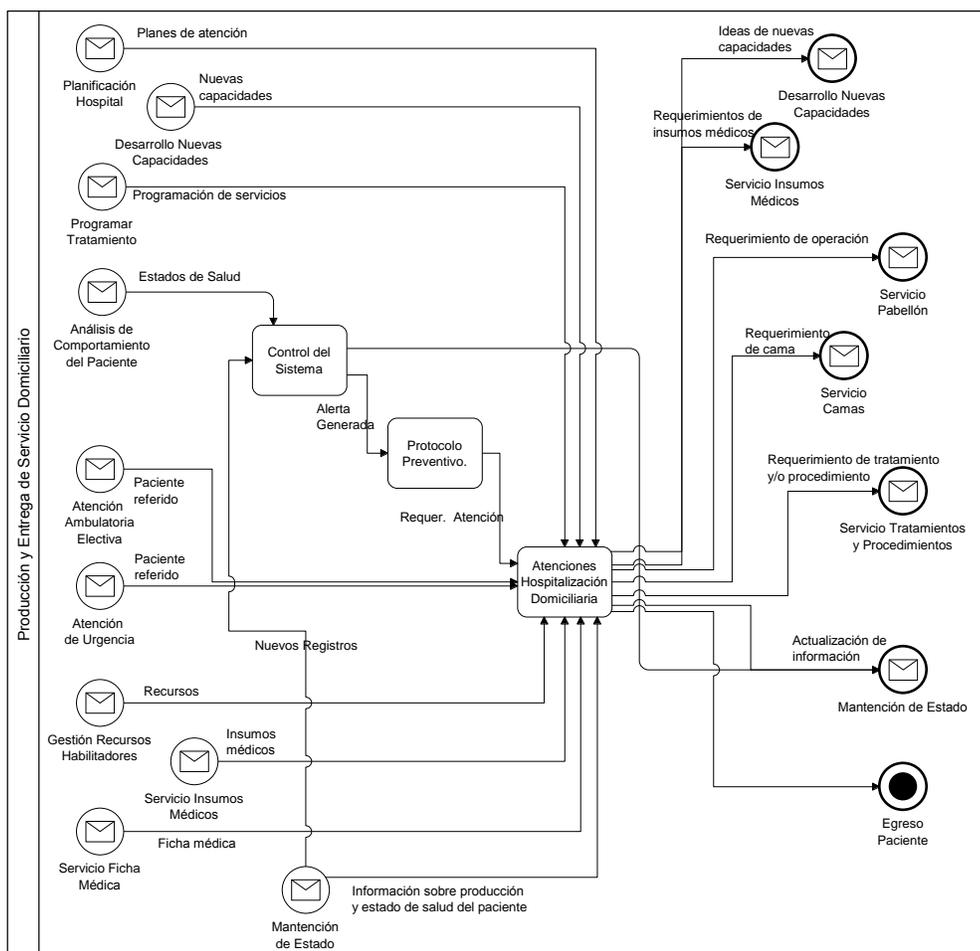


Ilustración 31: Producción y Entrega de Servicio Domiciliario (Elaboración propia)

8.2.1.2.1. Atenciones Hospitalización Domiciliaria

Controles en Domicilio Profesionales de Salud: Actualmente existen tres tipos de atención en el domicilio, una entregada por el kinesiólogo, otra por la enfermera y otra por el médico tratante.

- **Atención en Domicilio Kinesiólogo:** El kinesiólogo realiza dos tipos de controles. El primero, el tratamiento kinesiológico cuyo objetivo es tratar la patología crónica del paciente. El segundo, tiene que ver con chequeos rutinarios, como controlar los signos vitales, entre otras variables. En caso de que el kinesiólogo tenga dudas sobre el diagnóstico, este puede contactar al médico broncopulmonar tratante para resolver las dudas. Luego el kinesiólogo verifica si existe algún tipo de descompensación en el paciente, en el caso de que encuentre algún tipo de problema este deberá contactarse con el médico, quien evaluará si es que es necesario realizar una visita no programada o coordinar el equipo para tratamiento en el servicio de urgencias.
- **Atención en Domicilio Enfermera:** La enfermera tiene como objetivo revisar que el cuidador haya cumplido con las indicaciones establecidas en la programación del tratamiento, además de realizar los tratamientos médicos pertinentes. De encontrar algún tipo de exacerbación respiratoria, deberá contactarse con el médico encargado, quien evaluará si es necesario asistir al domicilio o coordinar el equipo para la evaluación en servicio de urgencias. El principal objetivo de la enfermera es controlar que todo funcione bien, por lo tanto, con un efectivo monitoreo a distancia de los indicadores del paciente, esta visita podría reducirse considerablemente.
- **Atención en Domicilio Médico:** Actualmente se programan visitas para que el médico realice un diagnóstico del paciente, es decir, verificar que su condición de salud este estable, en otros términos, controlar los indicadores de salud del paciente, como frecuencia respiratoria, frecuencia cardíaca, temperatura, saturación de oxígeno, entre otros indicadores. El re-diseño del proyecto apuntará a reducir este tipo de visitas, asignando una mayor frecuencia hacia aquellos pacientes en donde el sistema detecte posibles complicaciones de salud.

Control Cuidador del Paciente: En esta actividad es el cuidador quien debe monitorear de manera constante al paciente en el domicilio, de acuerdo al programa de tratamiento domiciliario establecido por el equipo multidisciplinario a cargo. El cuidador estará capacitado para detectar cualquier síntoma adverso en el paciente, en el caso de que detecte algún síntoma de descompensación, deberá llamar a la enfermera a cargo, quien realizará un diagnóstico de la situación y clasificará el nivel de riesgo detectado por el cuidador. Existen tres niveles de acuerdo a la gravedad de la situación establecidas con colores. El color verde es el de menor gravedad, en este caso la enfermera evaluará si es que el cuidador es capaz de resolver la situación por sí sólo o si es necesario que ella asista al domicilio. El color amarillo es de gravedad intermedia, la enfermera de tener dudas en el problema detectado puede contactarse con el médico

encargado, y tendrá un plazo de 24 horas para responder al problema detectado por el cuidador. El color rojo es el de mayor gravedad, en este caso la enfermera tiene un plazo de dos horas para definir qué acción seguir, en este caso se puede estimar que sea necesario que el SAMU¹¹ acuda de manera inmediata al hogar del paciente. Si bien existe un sistema que busca anticiparse a estas complicaciones respiratorias mediante alertas preventivas, siempre existe la posibilidad que este falle, o bien no capture los síntomas del paciente, es por esto que se definen las reglas anteriores gatilladas por el cuidador del paciente.

Atención en Hospital: Con una frecuencia de 3 o 4 veces por año, el médico encargado solicita una atención especial en el hospital, este control registra de manera continua indicadores como la saturación de oxígeno del paciente durante 8-12 horas, entre otras evaluaciones. El objetivo de lo anterior es determinar cómo está evolucionando el paciente, y también el de establecer cuál es la saturación de oxígeno mínima que el paciente muestra, para así determinar parámetros como el nivel de oxígeno con el que debe oxigenarse el paciente en domicilio.

8.2.1.2.2. Control del Sistema

A continuación se explica con mayor detalle el control inteligente realizado por el sistema. En primer lugar, los datos son capturados a través de sensores y de formularios web. Una vez capturados, se ejecuta el modelo predictivo, con los valores de la predicción, se asigna el riesgo a cada paciente mediante una lógica de asignación de riesgo, posteriormente se ejecuta la lógica de verificación de alertas, y en caso de existir una alerta preventiva, se ejecuta la lógica de envío de notificaciones hacia el equipo multidisciplinario. Todas las lógicas señaladas anteriormente son explicadas con mayor detalle posteriormente.

Para el caso de que los indicadores no sean capturados correctamente, el sistema inmediatamente enviará una notificación al cuidador del paciente, el cual deberá asistir en el lugar al paciente y comunicarse con el equipo médico encargado en caso de existir problemas.

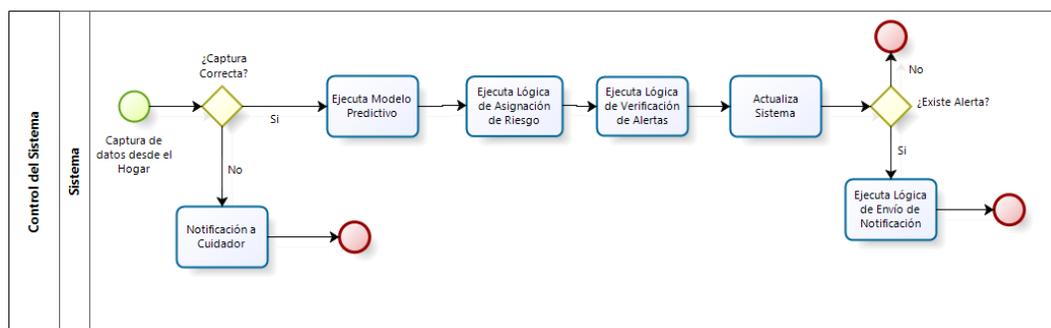


Ilustración 32: Control del Sistema (Elaboración propia)

¹¹ SAMU: Servicio de Atención Móvil de Urgencia.

En la ilustración 33 se aprecia la lógica a seguir para el caso de que los indicadores no sean transmitidos correctamente. Como se mencionó anteriormente, automáticamente se envía una notificación al cuidador, luego se debe indicar en el sistema el problema producido. En caso de que esto no ocurra, existirá una tolerancia de tiempo para enviar una segunda notificación al responsable del paciente.

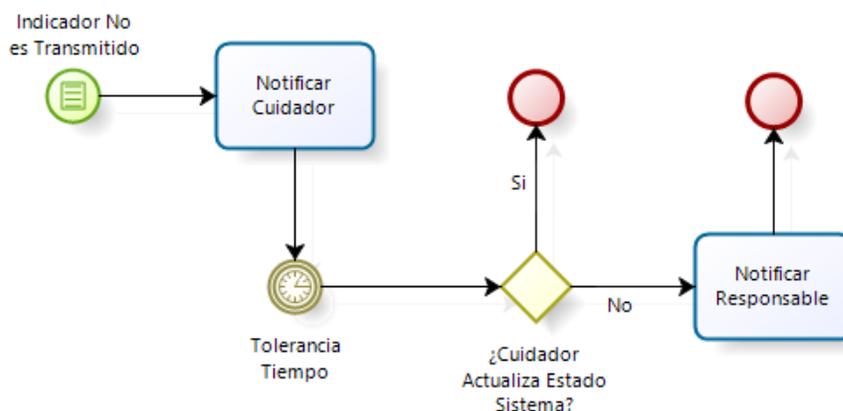


Ilustración 33: Control Sistema Caso Indicador No Transmitido (Elaboración propia)

La tolerancia de tiempo estará dada por el máximo nivel de riesgo presentado por el paciente en las últimas 12 horas. Llamaremos a esta variable *MaxRiesgo12*. En la tabla 9 se aprecia el nivel de tolerancia para cada nivel de riesgo.

<i>MaxRiesgo12</i>	Alto	Moderado	Bajo	Sin Riesgo
Tolerancia	15 minutos	25 minutos	45 minutos	2 horas

Tabla 9: Tolerancia Tiempo Indicador No Transmitido
Fuente: Elaboración propia realizada en conjunto con equipo experto

8.2.1.2.3. Protocolo Preventivo

El siguiente protocolo busca esquematizar las reglas y procedimientos a seguir cuando es detectada una alerta preventiva. A continuación serán descritas las actividades ejecutadas cuando se envía la notificación al actor encargado. Cabe destacar en este punto que existe una lógica de respaldo en caso de que el actor responsable no responda ante la alerta, la cual será explicada en el apartado siguiente como *Lógica de Envío de Notificaciones*.

Una vez que el sistema detecta una alerta, se notifica a la persona que aparece en el sistema como primera opción, de acuerdo a una lógica establecida. Posteriormente, se debe llamar inmediatamente al cuidador del paciente para determinar la gravedad de la situación. En el caso de que el cuidador responda, el médico cuenta con información suficiente para resolver la situación. Por el contrario, de no responder el cuidador, existe una tolerancia de tiempo para el cual el médico debe

resolver la alerta, en este caso el médico puede evaluar información asociada a la condición de salud del paciente en el sistema, para finalmente establecer cuál fue la acción ejecutada.

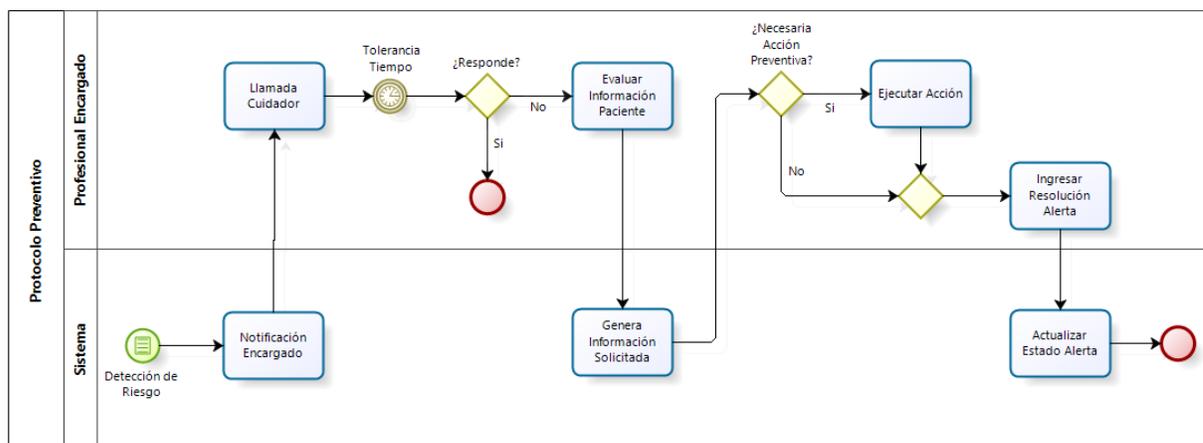


Ilustración 34: Protocolo Preventivo (Elaboración propia)

Es importante mencionar que la acción ejecutada por el profesional encargado que recibe la alerta quedará exclusivamente a su criterio. Si bien existen posibles lineamientos a seguir, se hace muy difícil diseñar una regla estructurada para lo anterior, ya que existen muchas variables que influyen en la caracterización del riesgo del paciente, las cuales sólo pueden ser cuantificadas a partir de un criterio experto.

La información asociada a los aspectos médicos del paciente que puede revisar el médico o actor notificado es la siguiente:

- Información del Paciente: Información médica relevante asociada al paciente, como patología crónica, edad, entre otros parámetros.
- Exacerbaciones o Crisis anteriores: Con esto es posible ver una posible mejora o empeoramiento del paciente en el tiempo.
- Evolución de indicadores en el Tiempo: Existen indicadores que ciertamente son más importantes que otros, con esto el médico puede tener *insights*¹² sobre la evolución de la condición del paciente.

¹² Insight: Término utilizado en psicología proveniente del inglés para designar la comprensión o entendimiento de algo.

9. Lógica Compleja de Negocios

Existen algunas actividades del proceso que presentan una lógica automatizada y semi-automatizada. El presente capítulo busca explicar aquellos procesos que debido a su complejidad requieren de un análisis más riguroso. El esquema general de estas lógicas es modelado con notación BPMN, apoyado por un análisis estadístico de los datos y modelos matemáticos.

9.1. Caracterización de Pacientes

Esta es la actividad inicial que analiza el comportamiento de los pacientes, su objetivo es caracterizar grupos de pacientes similares en base a sus patologías e indicadores basales de signos vitales. Si bien existen muchas técnicas de *clustering* que suelen automatizar la segmentación, en este caso no se cuenta con data real transmitida de los domicilios, por lo que se utiliza el criterio experto de los médicos, en conjunto con un análisis visual de los datos recolectados durante la hospitalización, para generar los distintos grupos de pacientes.

En primer lugar, es el médico quien debe establecer cuáles son los distintos segmentos etarios de interés, en donde se realizará una validación de estos mediante un análisis descriptivo de los datos. Posteriormente, se procederá a analizar las patologías de los pacientes y clasificarlas en grupos.

9.1.1. Análisis Descriptivo por Grupo Etario

En esta etapa se realiza un análisis descriptivo de los datos agrupando los pacientes en distintos segmentos. Cabe destacar que la generación de estos segmentos proviene de un criterio puramente experto, sin embargo, la clasificación realizada por el médico es validada analizando el comportamiento de los signos vitales durante la hospitalización en los distintos grupos generados. Se espera que indicadores como frecuencia cardíaca y frecuencia respiratoria presenten distribuciones distintas entre los segmentos etarios.

De acuerdo al criterio experto, los pacientes pueden clasificarse en cuatro grupos de edad:

- 0 a 1 Mes
- 1 Mes a 6 Meses
- 6 Meses a dos Años
- 2 Años en adelante

A continuación se analizará visualmente el comportamiento de la temperatura, frecuencia cardíaca y frecuencia respiratoria en los cuatro segmentos etarios generados por el criterio experto del médico. Sólo son analizados estos indicadores porque para efectos de validar distintos comportamientos, se estima que son los más relevantes, ya que la saturación de oxígeno suele ser un indicador con rangos similares para todos los pacientes, y la presión arterial suele presentar mucha variación, por lo que se necesitarían muchos datos para validar su comportamiento.

En los gráficos siguientes se asignará con un número cada grupo etario, siendo el número 1 para aquellos pacientes más pequeños (0 a 1 mes), y el número 4 para los pacientes de mayor edad.

Temperatura

En la ilustración 35 es posible apreciar cómo se distribuye la temperatura en los distintos segmentos etarios durante la hospitalización. Se aprecia que en cada gráfico de barra existen colores, estos representan el tipo de apoyo ventilatorio. VAFO (Ventilación de Alta Frecuencia Oscilatoria) es el apoyo cuando el paciente presentó una mayor gravedad, y está relacionado a una ventilación asistida de alta frecuencia. VMI (Ventilación Mecánica Invasiva) corresponde a la ventilación entregada cuando los pacientes presentan una alta gravedad, pero menor a VAFO. VMNI (Ventilación Mecánica No Invasiva) es la que sigue en términos de gravedad, podría clasificarse como una gravedad intermedia durante la hospitalización. OT es el apoyo con Oxígeno Terapia, esta suele entregarse cuando el paciente ha presentado una evolución en su condición de salud. Ambiental es cuando el paciente no presenta ni apoyos de oxígeno ni ventilatorios, por lo que en este estado con frecuencia el paciente está próximo al alta médica.

Si bien en algunos grupos la temperatura puede presentar una leve inclinación en su distribución, esta inclinación está dada debido a los distintos tipos de apoyos ventilatorios, pero en general es posible ver que la distribución es relativamente similar en todos los segmentos etarios. A partir de lo anterior se deduce la importante conclusión de que **la temperatura es un indicador genérico para todos los pacientes**, y sus rangos solo variarán para casos absolutamente particulares.

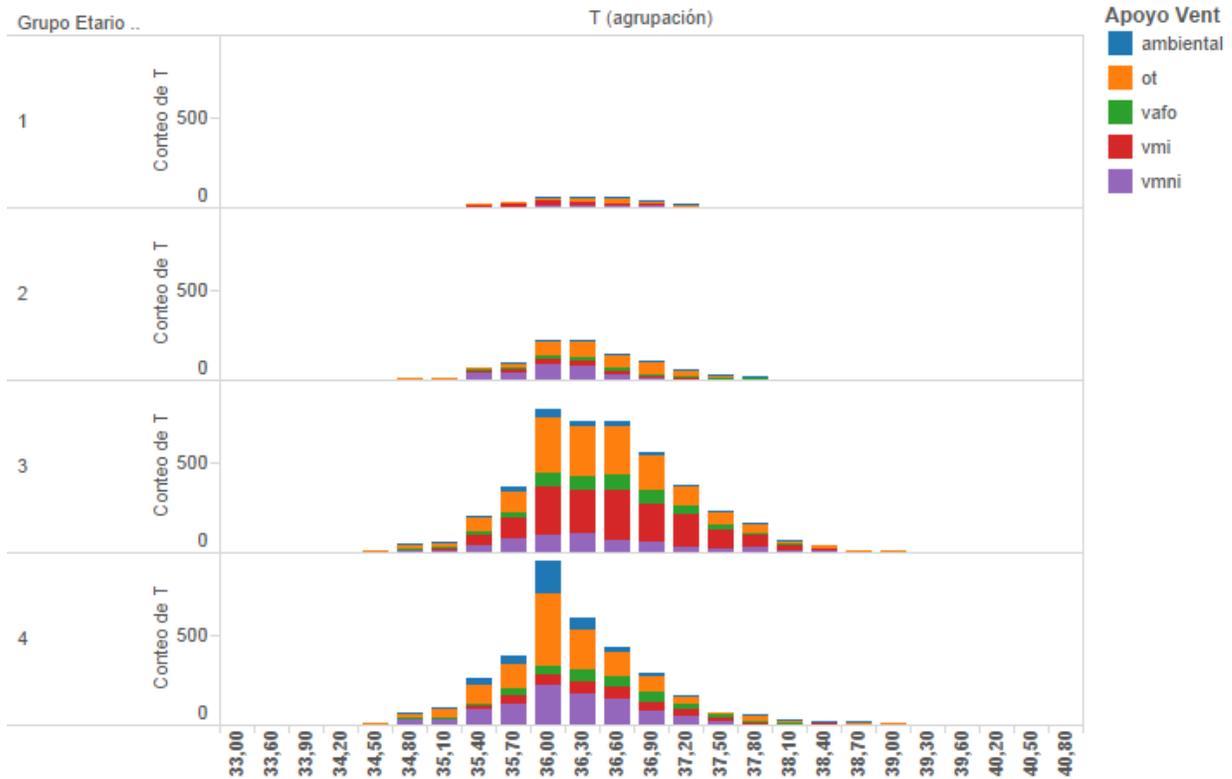


Ilustración 35: Temperatura por Grupo Etario (Elaboración propia)

Frecuencia Cardíaca

En la ilustración 36 se aprecia la forma de la distribución de la frecuencia cardíaca para cada segmento etario. En este caso es posible ver que la distribución de este indicador es claramente distinto para los distintos grupos. Esta distinción es más clara para los segmentos 3 y 4, ya que se cuenta con una mayor cantidad de datos.

Analizando los segmentos 3 y 4, se aprecia como en el segmento 3 la frecuencia cardíaca en promedio suele estar cercana a 100, en cambio para el grupo 4 este indicador suele estar cercano a 120.

Lo anterior refleja como la frecuencia cardíaca es un indicador que debe adecuarse para cada segmento a estudiar, ya que no puede decirse que es genérica para todos los pacientes.

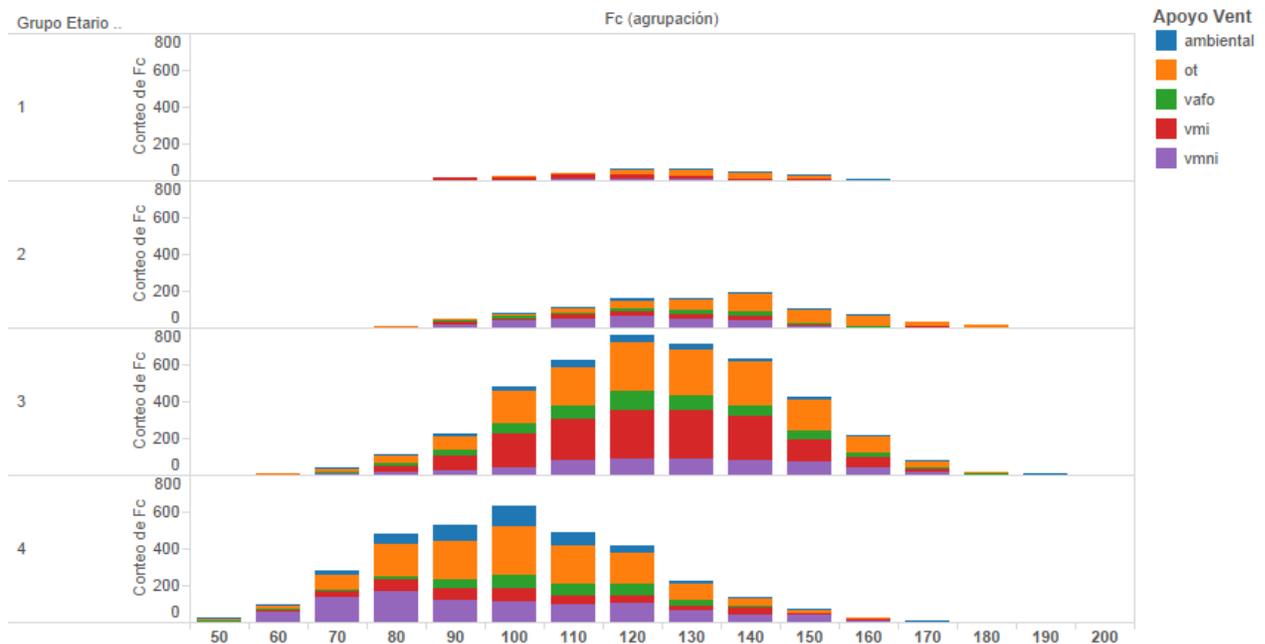


Ilustración 36: Frecuencia Cardíaca por Grupo Etario (Elaboración propia)

Frecuencia Respiratoria

En el caso de la frecuencia respiratoria ocurre un fenómeno particular. Cuando el paciente presenta una mayor gravedad, y por consecuencia sus apoyos ventilatorios aumentan, estos apoyos intentan suplir en parte la frecuencia respiratoria del paciente, por lo que en aquellos períodos con apoyo de VMI, la frecuencia respiratoria suele disminuir considerablemente, pero esta disminución se debe en gran parte por el tipo de apoyo ventilatorio, y no por un deterioro en la condición de salud. Es importante remarcar esto, ya que en aquellos grupos de pacientes en donde se tiene una mayor cantidad de datos con apoyo ventilatorio VMI, la frecuencia respiratoria presentará un claro sesgo.

Lo anterior puede apreciarse en la ilustración 37. Se ve como en el grupo etario 3 se cuenta con el mayor porcentaje de datos con apoyo VMI, esto genera un claro sesgo de la frecuencia respiratoria, afectando su distribución. Pero si analizamos los datos cuando los pacientes presentaron un apoyo de oxígeno terapia, en donde no existe un apoyo ventilatorio y lo que se refleja es la frecuencia respiratoria efectiva del paciente, se aprecia como el grupo 3 presenta una frecuencia respiratoria claramente mayor al grupo 4.

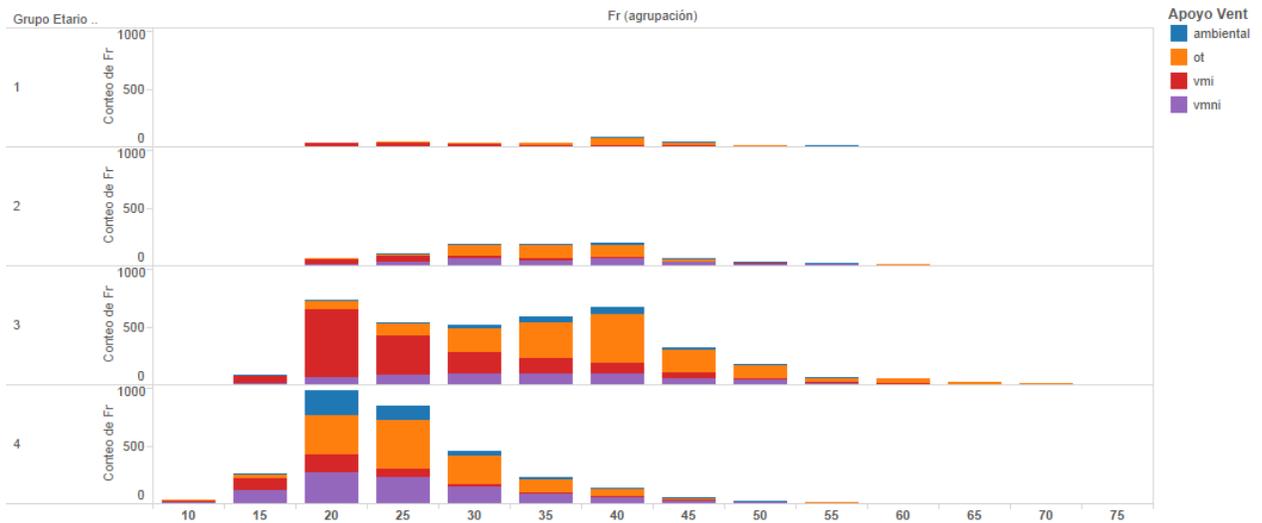


Ilustración 37: Frecuencia Respiratoria por Grupo Etario (Elaboración propia)

9.1.2. Analizar Patologías

Esta actividad corresponde a la siguiente etapa y funciona de manera similar a la anterior. En este paso es crucial el criterio experto del médico, ya que las patologías que presentan estos pacientes son muy atípicas y presentan comportamientos que difieren del comportamiento normal, por lo que la experiencia del médico es vital para asignar correctamente los distintos grupos de patologías.

Como una primera aproximación, debido a la baja cantidad de datos presentada en los grupos etarios 1 y 2, sólo se realiza una clasificación por patologías para los grupos 3 y 4. Es importante mencionar en este punto que las patologías de los pacientes fueron agrupadas por el equipo experto, basado en las similitudes de estas. A continuación se muestra el análisis por patologías realizado para el grupo etario 3.

Saturación de Oxígeno

El objetivo de clasificar a los pacientes en distintos grupos de patologías es que cada grupo debiera presentar un comportamiento distinto con respecto a sus indicadores de salud. La saturación de oxígeno es uno de los principales indicadores a evaluar para clasificar el nivel de riesgo de los pacientes, y se espera que algunos pacientes debido a su patología, puedan presentar comportamientos de falta de saturación de oxígeno con mayor frecuencia que otros, o bien tener distintos niveles de normalidad para este indicador.

Lo anterior busca validarse a través de la ilustración 38. Se aprecia que la forma de la distribución para cada grupo de patología es relativamente similar, por lo que establecer distintos comportamientos para la saturación de oxígeno no es tan directo, y requiere de un análisis más riguroso por parte del médico experto.

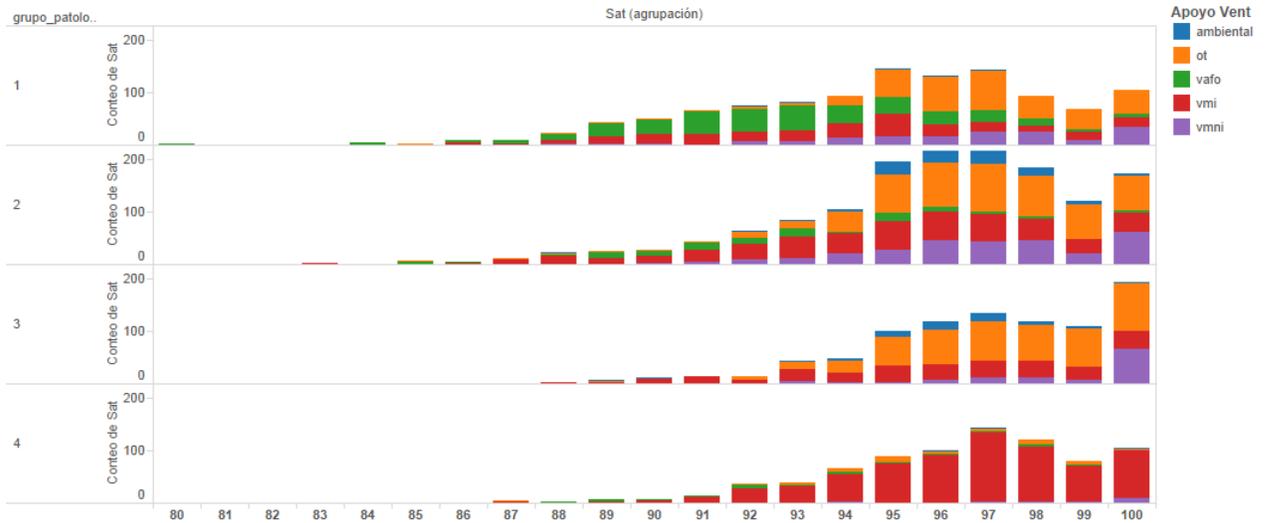


Ilustración 38: Saturación de Oxígeno por Grupo Patología en Segmento Etario 3 (Elaboración propia)

Frecuencia Cardíaca

En la ilustración 39 se aprecia como la distribución de la frecuencia cardíaca es levemente distinta dentro de algunos grupos de patologías. Se puede ver como los grupos 1, 3 y 4 tendrían una distribución relativamente similar, y el grupo 2 presenta una frecuencia cardíaca menor al resto de los segmentos.

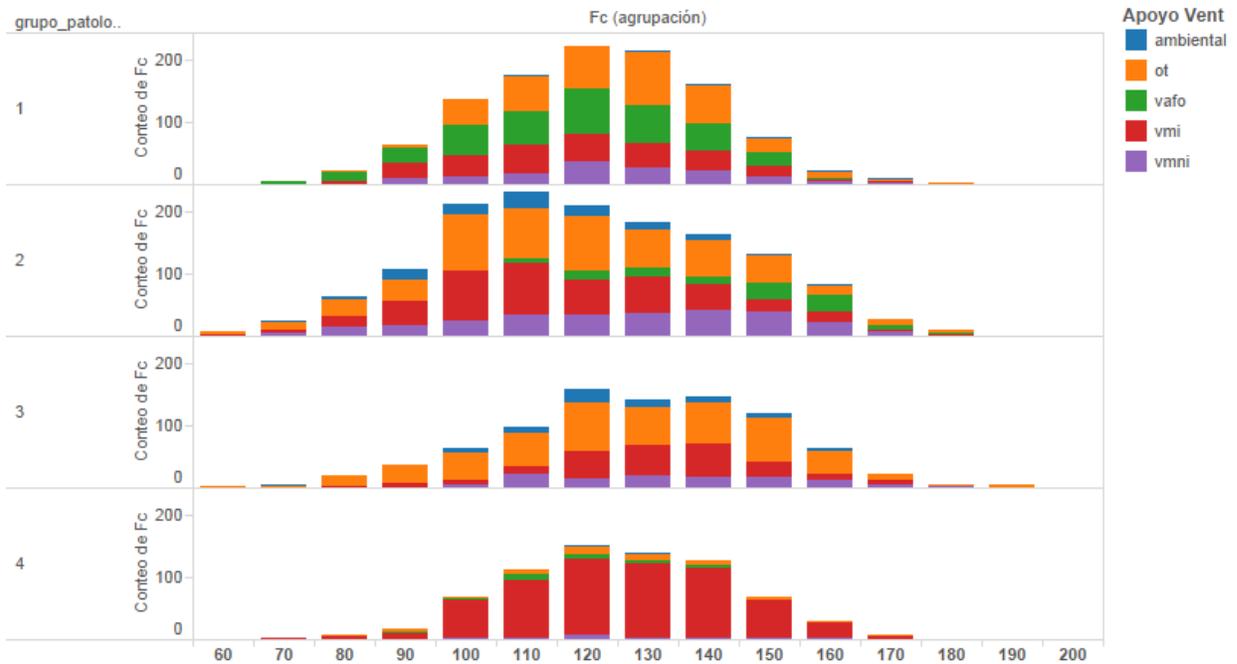


Ilustración 39: Frecuencia Cardíaca por Grupo Patología en Segmento Etario 3 (Elaboración propia)

Frecuencia Respiratoria

Este indicador es más complicado de analizar debido a lo explicado anteriormente asociado al tipo de apoyo ventilatorio. En la ilustración 40 se aprecia como el tipo de apoyo VMI altera la distribución, y analizando los otros estados de apoyo ventilatorio no es tan claro determinar diferencias en las frecuencias respiratorias para cada grupo, por lo que para analizar el comportamiento de cada grupo se requiere de un análisis experto del equipo médico.

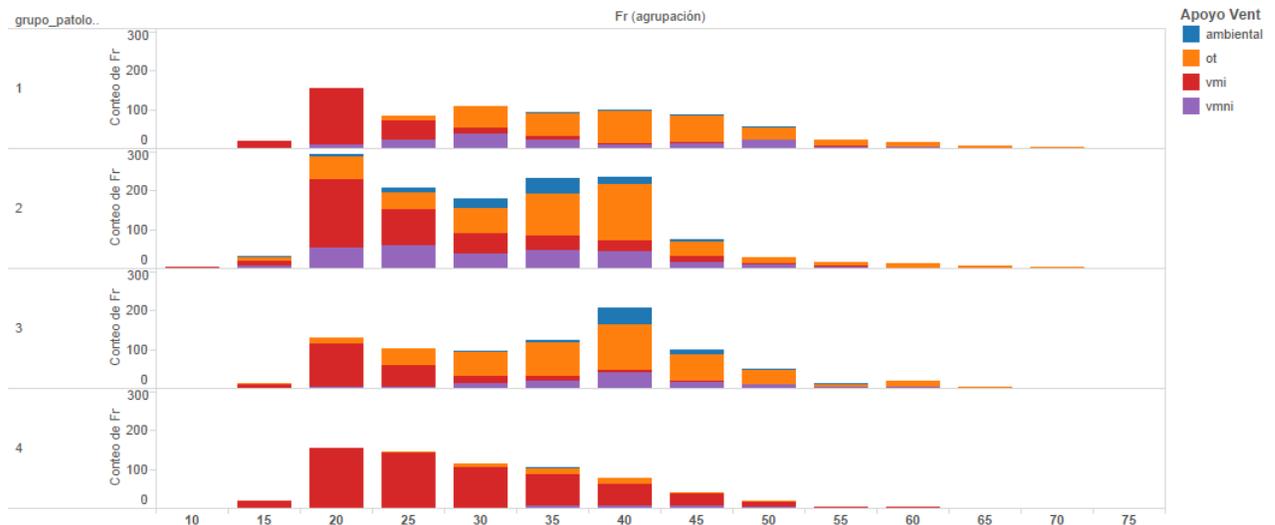


Ilustración 40: Frecuencia Respiratoria por Grupo Patología en Segmento Etario 3 (Elaboración propia)

El análisis para el resto de los grupos etarios es prácticamente el mismo, y se obtiene como conclusión que para la clasificación de las patologías debe hacerse la distinción en aquellas que pertenecen a patologías crónicas respiratorias y aquellas que no. En este caso la saturación de oxígeno debe tratarse de manera distinta. El detalle de esta clasificación será analizado posteriormente en el desarrollo del modelo predictivo.

9.2. Desarrollo de Modelo Predictivo

El desarrollo del modelo predictivo presenta cinco actividades. En la ilustración N° 41 es posible ver este proceso a través de un diagrama BPMN, en donde si bien estas actividades pueden no ser secuenciales en la práctica, estas se muestran de forma secuencial para un mejor entendimiento del proceso del desarrollo del modelo predictivo.

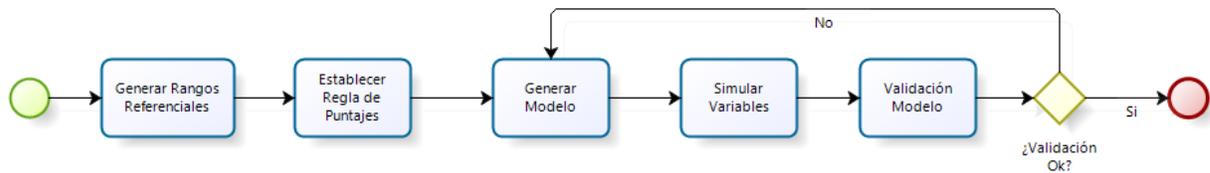


Ilustración 41: Desarrollo de Modelo Predictivo (Elaboración propia)

Es importante mencionar que este apartado busca explicar cómo funciona la generación del modelo predictivo que explica el **riesgo estático** del paciente. Se hace la denominación de riesgo estático ya que el modelo identificará el grado de riesgo sólo para un registro de signos vitales, y no para un conjunto de estos en un intervalo de tiempo.

9.2.1. Generar Rangos Referenciales

El primer paso para la realización del modelo de inteligencia artificial basado en lógica difusa es generar los rangos referenciales para cada indicador de salud. Como se vio anteriormente, se hace necesario hacer una clasificación por edad y grupo de patología.

A partir de lo analizado en los datos, en conjunto con los rangos referenciales establecidos en *Meneghello* [44]. Se establecen los siguientes rangos referenciales:

Frecuencia Respiratoria

Al analizar el comportamiento por segmentos etarios, y lo establecido en la literatura médica, se establecen los siguientes niveles referenciales para cada segmento etario:

< 1 año	1 a 2 años	2 a 5 años	5 a 12 años	>12 años
30-60	25-35	25-30	18-30	15-20

Tabla 10: Rangos Referenciales Frecuencia Respiratoria
Fuente: Elaboración equipo experto basado en *Meneghello* [44]

Frecuencia Cardíaca

De la misma forma que para la frecuencia respiratoria, se establecen los siguientes niveles referenciales para cada segmento etario en frecuencia cardíaca:

< 3 meses	3 a 6 meses	1 a 2 años	2 a 10 años	>10 años
85-195	100-160	100-150	60-140	60-100

Tabla 11: Rangos Referenciales Frecuencia Respiratoria
Fuente: Elaboración equipo experto basado en *Meneghello* [44]

Temperatura

Al analizar el comportamiento de los pacientes, se estableció que esta variable tiene el mismo comportamiento independiente del grupo etario, es por esto que se establece para esta variable un rango normal de 36 – 37,5.

Saturación de Oxígeno

Esta variable presenta una segmentación por patología, y será tratada como una variable discreta. Para esta variable si bien existe un rango de normalidad, su especificación será tratada con mayor detalle posteriormente en el siguiente apartado.

9.2.2. Establecer Regla de Puntajes

El siguiente paso es establecer el mecanismo de puntajes el cual asigna un puntaje global considerando a todos los indicadores de salud en su conjunto. La lógica definida a continuación fue establecida en conjunto con personal experto en la materia.

Tabla de Puntaje	
1	T Alta o T Baja
2	FC Alta
	FR Alta
	SAT 90-93 (CR)
	SAT 94-95 (NCR)
3	FC Baja
	FR Baja
4	SAT 90-93 (NCR)
6	SAT < 90

Tabla 12: Tabla de Puntajes Desviaciones Indicadores de Salud
Fuente: Elaboración propia realizada con médicos expertos

En la tabla 12 se aprecia el esquema de puntajes para la desviación de cada indicador de salud de manera individual. Por ejemplo, se le asigna un puntaje 2 si ocurre cualquiera de los siguientes eventos:

- Frecuencia Cardíaca Alta (Taquicardia)
- Frecuencia Respiratoria Alta (Taquipnea)
- Saturación entre 90 y 93 para patologías Crónicas Respiratorias (CR)
- Saturación entre 94 y 95 para patologías No Crónicas Respiratorias (NCR)

El ejemplo anterior muestra cómo se diferencian aquellos pacientes con patologías crónicas respiratorias para la saturación de oxígeno. Esto se realiza ya que los pacientes con estas patologías suelen saturar en promedio menos que pacientes con otras patologías debido a su condición de salud.

Para asignar el nivel de riesgo del paciente, se suman todos los puntajes obtenidos a través de sus indicadores de salud transmitidos. Llamaremos a la suma de todos los puntajes como *Puntaje Global (PG)*. El riesgo del paciente estará dado de acuerdo a lo siguiente:

- Riesgo Bajo: $2 \leq PG \leq 3$
- Riesgo Moderado: $4 \leq PG \leq 5$
- Riesgo Alto: $6 \leq PG$

En la tabla 13 se aprecia el mapeo de todas las combinaciones de los indicadores de salud que gatillan los distintos niveles de riesgo. El objetivo de esta visualización es fundamentar el razonamiento médico a través de la combinación de puntajes en todos los indicadores de salud.

Nivel de Riesgo	Patologías Crónicas Respiratorias (CR)	Patologías No Crónicas Respiratorias (NCR)
Bajo (2-3 pts)	FC Alterada	FC Alterada
	FR Alterada	FR Alterada
	SAT 90-93	SAT 94-95
Moderado (4-5 pts)	SAT 90-93 y (FC o FR Alterada)	SAT 94-95 y (FC o FR Alterada)
	FC Alta y FR Alterada	FC Alta y FR Alterada
	FR Alta y FC Alterada	FR Alta y FC Alterada
	T Alterada y FC Baja	T Alterada y FC Baja
	T Alterada y FR Baja	T Alterada y FR Baja
		SAT 90-93
Alto (>= 6 pts)	FC Baja y FR Baja	SAT 90-93 y (FC o FR Alterada)
	SAT < 90	FC y FR Baja
	FC Alta y FR Baja y T Alterada	FC Alta y FR Baja y T Alterada
	FR Alta y FC Baja y T Alterada	FR Alta y FC Baja y T Alterada
		SAT < 90

Tabla 13: Mapeo Niveles de Riesgo Indicadores de Salud (Elaboración propia)

9.2.3. Generar Modelo

La siguiente actividad corresponde a generar un modelo de inteligencia artificial que intenta emular el criterio del médico para clasificar el riesgo estático del paciente. Como fue explicado anteriormente, en este punto ya se tienen las reglas de combinaciones de los indicadores de salud hacia los distintos niveles de riesgo, y además de esto, se cuenta con rangos referenciales para cada indicador. Pero ya que se intenta emular el razonamiento de un humano, este razonamiento no siempre funciona en base a rangos definidos, ya que a veces trabaja a través de criterios con ciertos matices. Un ejemplo de esto es que en determinadas situaciones, el umbral para un cierto signo vital puede cambiar dependiendo del valor del resto de los indicadores de salud, por lo que el supuesto rango referencial ya no sería fijo, sino que será variable dependiendo del resto.

Esta actividad intenta abordar lo explicado en el punto anterior utilizando como base lógica difusa. A través de esta lógica, se realiza un modelamiento de cada indicador de salud utilizando funciones de membresía, para posteriormente establecer reglas que gatillen la generación de puntajes.

Lo primero que debe definirse son las funciones de membresía para cada variable. Un ejemplo de la forma de operar del modelo será la siguiente: *“El registro muestra índices de taquicardia, alta temperatura y desaturación de oxígeno, por lo tanto corresponde a una clasificación de riesgo Alta”*.

Por lo tanto, para cada variable se definen distintas funciones de membresía. Las variables que presentan este modelamiento son: Temperatura (T), Frecuencia Cardíaca (FC) y Frecuencia Respiratoria (FR). La saturación de oxígeno será tratada como una

variable discreta, ya que pequeñas variaciones de esta generan cambios bruscos en el potencial riesgo de salud del paciente.

Para cada variable existen tres funciones de membresía, la primera modelando una desviación alta, otra una desviación baja, y la última un rango medio. Las tres funciones de membresía son descritas a continuación:

$$\begin{aligned}
 RA_i &= \text{Rango Alto para Indicador } i, \quad \text{con } i \in \{T, FC, FR\} \\
 RN_i &= \text{Rango Normal para Indicador } i, \quad \text{con } i \in \{T, FC, FR\} \\
 RB_i &= \text{Rango Bajo para Indicador } i, \quad \text{con } i \in \{T, FC, FR\}
 \end{aligned}$$

El modelamiento de cada función es realizado como sigue:

$$RA_i(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x < c_i \\ \frac{(d_i - x)}{(c_i - d_i)} & \text{si } c_i \leq x \leq d_i \\ 1 & \text{si } x > d_i \end{cases}$$

$$RN_i(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x < a_i \text{ o } x > d_i \\ \frac{(x - a_i)}{(b_i - a_i)} & \text{si } a_i \leq x \leq b_i \\ 1 & \text{si } b_i \leq x \leq c_i \\ \frac{(d_i - x)}{(d_i - c_i)} & \text{si } c_i \leq x \leq d_i \end{cases}$$

$$RB_i(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x > b_i \\ \frac{(b_i - x)}{(b_i - a_i)} & \text{si } a_i \leq x \leq b_i \\ 1 & \text{si } x < a_i \end{cases}$$

Es posible apreciar que considerando las tres funciones de membresía existen 4 parámetros a ajustar para cada indicador de salud. Estos parámetros delimitan los intervalos que definen un valor específico para cada función. En el gráfico 5 se aprecia como cada uno de los parámetros marca un determinado comportamiento para cada una de las funciones. A continuación se explica cómo es definido cada uno de los parámetros.

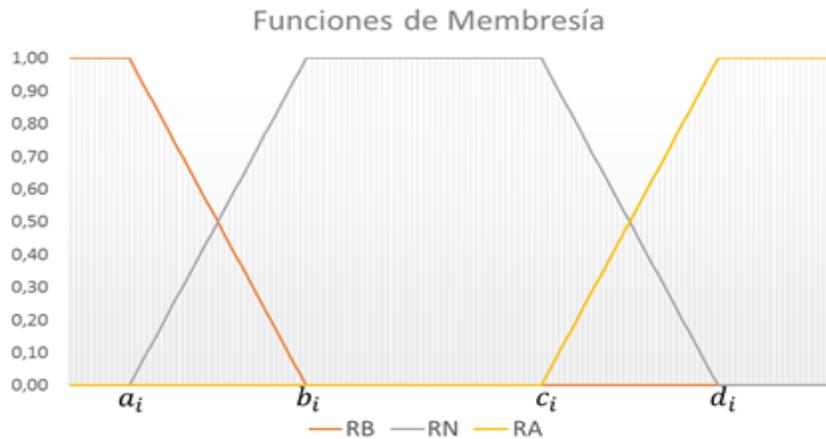


Gráfico 5: Funciones de Membresía (Elaboración propia)

Cada signo vital posee un rango referencial, el cual es generado basado en la literatura médica. Llamaremos al límite inferior como Min_i para cada signo vital i , y el límite superior lo denominaremos Max_i .

Cada límite es flexibilizado por un cierto rango, que llamaremos $FlexMax_i$ y $FlexMin_i$, para el límite superior e inferior respectivamente. Entonces, cada parámetro establecido para las funciones de membresía es definido de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 a_i &= Min_i * (1 - FlexMin_i) \text{ para cada } i \in \{T, FC, FR\} \\
 b_i &= Min_i * (1 + FlexMin_i) \text{ para cada } i \in \{T, FC, FR\} \\
 c_i &= Max_i * (1 - FlexMax_i) \text{ para cada } i \in \{T, FC, FR\} \\
 d_i &= Max_i * (1 + FlexMax_i) \text{ para cada } i \in \{T, FC, FR\}
 \end{aligned}$$

El siguiente parámetro a definir es cuando un determinado valor de un signo vital, es calificado como alto, bajo, o dentro de un rango medio. Como cada función de membresía toma valores en un rango de 0 a 1, lo que establece una probabilidad de pertenencia, el valor obtenido en la función de membresía efectivamente pertenecerá a esta si es que el la probabilidad de pertenencia es mayor a p_{ik} , siendo la probabilidad para el indicador de salud i en la función de membresía k .

Cómo se explicó anteriormente, el razonamiento del médico experto cambia dependiendo del valor de los otros signos vitales. Sea SV el conjunto de signos vitales (T, FC, FR y SAT). Llamaremos a SV^{-i} al conjunto de todos los signos vitales menos el signo vital i . Si SV^{-i} están con probabilidad 1 en un rango normal, entonces el criterio de desviación para el signo vital i será distinto, llamaremos a esta probabilidad p_{ik}^{norm} , siendo la probabilidad de pertenencia para el signo vital i en la función de membresía k para un estado de salud normal. En el caso de que exista al menos un signo vital $i \in SV^{-i}$ que no esté con probabilidad 1 en un rango normal, se utilizará la probabilidad

p_{ik}^{riesgo} , siendo la probabilidad de pertenencia para un estado riesgoso. La condición anterior puede resumirse de la forma siguiente:

$$p_{ik} = \begin{cases} p_{ik}^{norm} & \text{si } \sum_{m \in SV^{-i}} RN_m = 3 \\ p_{ik}^{riesgo} & \text{si no se cumple lo anterior} \end{cases}$$

Lo anterior quiere decir que si es que el resto de los signos vitales, con total certeza se encuentran dentro de un rango normal, entonces el indicador a evaluar presentará una mayor flexibilidad para establecer una posible desviación, es decir, se permitirán valores más alejados de la normalidad. De lo contrario, si existe algún signo vital posiblemente desviado, se tendrá mayor rigurosidad para valores cercanos a los límites.

Por último, queda establecer cuál es el criterio para la asignación de puntajes como se estableció en la tabla 12. Es decir, determinar cuándo un indicador de salud es efectivamente clasificado como alto o bajo, y por consecuencia, cuando se asigna el puntaje para cada nivel. Para lo anterior definiremos las siguientes funciones de puntajes:

$$P_t^1 = \begin{cases} 1 & \text{si } RN_t < p_{rn,t} \text{ con } rn \text{ función de rango normal y } t \text{ temperatura} \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

$$P_{fc}^2 = \begin{cases} 2 & \text{si } RA_{fc} > p_{ra,fc} \text{ con } ra \text{ función de rango alto y } fc \text{ frec. cardíaca} \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

$$P_{fr}^2 = \begin{cases} 2 & \text{si } RA_{fr} > p_{ra,fr} \text{ con } ra \text{ función de rango alto y } fr \text{ frec. respiratoria} \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

$$P_{sat}^2(a, b) = \begin{cases} 2 & \text{si } a \leq SAT \leq b \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

$$P_{fc}^3 = \begin{cases} 3 & \text{si } RB_{fc} > p_{rb,fc} \text{ con } rb \text{ función de rango bajo y } fc \text{ frec. cardíaca} \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

$$P_{fr}^3 = \begin{cases} 3 & \text{si } RB_{fr} > p_{rb,fr} \text{ con } rb \text{ función de rango bajo y } fr \text{ frec. respiratoria} \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

$$P_{sat}^4 = \begin{cases} 4 & \text{si } 90 \leq SAT \leq 93 \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

$$P_{sat}^6 = \begin{cases} 6 & \text{si } SAT < 90 \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

Finalmente, obtenemos la lógica que asigna el puntaje global (PG) del paciente:

$$PG = P_t^1 + P_{fc}^2 + P_{fr}^2 + P_{fc}^3 + P_{fr}^3 + (1 - CR) * (P_{sat}^2(94,95) + P_{sat}^4) + CR * P_{sat}^2(90,93) + P_{sat}^6$$

$$\text{con } CR = \begin{cases} 1 & \text{si paciente es crónico respiratorio} \\ 0 & \text{sino} \end{cases}$$

En la sección de anexos *Anexo B: Algoritmo Modelo IA*, se explica en detalle el código utilizado para generar el algoritmo de predicción basado en lógica difusa.

9.2.4. Simular Variables

La siguiente actividad tiene como objetivo identificar aquellos rangos en donde no es tan clara la evaluación de un experto. Si bien la combinación de puntaje para los indicadores con valores extremos resulta clara y sin dudas, el sistema puede incurrir en errores para aquellos valores cercanos a los límites.

Esta actividad genera la base para la simulación de variables, en donde los distintos indicadores de salud serán simulados evaluando de manera inmediata los resultados del modelo predictivo, con el propósito de validar aquellos puntos cercanos a los límites referenciales, y realizar un ajuste de los parámetros hasta coincidir con la evaluación de un médico experto.

La primera actividad correspondiente a la generación del modelo predictivo tiene relación con identificar el comportamiento de los indicadores de salud del paciente. Para una realización correcta de la simulación de los indicadores de salud, es de vital importancia establecer cuáles son las correlaciones entre las distintas variables, para así generar una simulación que condiga con lo que eventualmente podría ocurrir en la realidad.

Correlaciones	T	FC	FR	SAT
T	1	0,42	0,17	-0,1
FC	0,42	1	0,36	-0,07
FR	0,17	0,36	1	0,05
SAT	-0,1	-0,07	0,05	1

Tabla 14: Correlaciones Variables Relevantes (Elaboración propia)

En la tabla 14 se puede apreciar las correlaciones entre las variables a analizar. Se puede ver que las correlaciones más altas están asociadas a la temperatura con la frecuencia cardíaca (0,42) y la frecuencia respiratoria con la frecuencia cardíaca (0,36).

Lo anterior es muy relevante para posteriores análisis, ya que podría indicar que la frecuencia cardíaca puede explicar gran parte del comportamiento de la temperatura y frecuencia respiratoria del paciente. Y como se vio anteriormente, la frecuencia cardíaca es un indicador que es claramente distinto dependiendo de la clasificación del paciente, por lo que toma especial relevancia para la clasificación de riesgo estático.

Una vez obtenidas las distintas correlaciones de las variables relevantes del paciente, el siguiente paso corresponde a realizar una simulación de estas variables. El objetivo de esta actividad es simular las variables anteriores en distintos rangos, pero manteniendo sus correlaciones intrínsecas, para que posteriormente el médico pueda etiquetar el nivel de riesgo estático de acuerdo a su criterio experto.

En esta actividad se realiza una simulación multivariada. Esta simulación toma en cuenta las covarianzas entre las variables. La metodología utilizada es la *Descomposición de Choleski*. Esta descomposición funciona de la siguiente forma:

Sea R la matriz de correlaciones definida en la tabla 9. Luego la *Descomposición de Choleski* es aplicada a la matriz R . Sea $N(\mu, \sigma^2)$ una distribución normal con media μ y desviación estándar σ . La *Descomposición de Choleski* sólo funciona para variables con distribución $N(0,1)$, pero de acuerdo a los análisis visuales realizados anteriormente, todos los signos vitales se comportarían de acuerdo a una distribución normal, con excepción de la saturación de oxígeno, la cual tiene un comportamiento diferente. Pero para efectos de simular datos, el médico etiquetará cada registro de manera independiente al resto, por lo que lo verdaderamente relevante es la correlación entre las variables, y no la distribución en el tiempo.

Sea X la matriz que contiene una generación de datos aleatorios para cada variable, cada una de estas variables sigue una distribución $N(0,1)$. Sea $Chol(R)$ la *descomposición de Choleski* aplicada a la matriz R . Sea W el conjunto de datos generados aplicando la descomposición de *Choleski* en los datos generados de las variables, es decir:

$$W = Chol(R) * X$$

Esta matriz W genera datos aleatorios con distribución $N(0,1)$ y con correlaciones muy similares a las de la matriz R . El siguiente paso es transformar cada variable de acuerdo a sus rangos, ya que el médico no puede etiquetar datos con valores cercanos a 0.

Se sabe que una variable con distribución $N(\mu, \sigma^2)$, al realizar una transformación de su variable x en otra variable z sigue una distribución $N(0,1)$. La transformación es como sigue:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Por lo tanto, las variables generadas con la simulación se les realiza una transformación inversa, ya que lo que se quiere obtener es $N(\mu, \sigma^2)$, es decir, a las variables generadas se les aplica la siguiente transformación:

$$x = z * \sigma + \mu$$

Con la transformación anterior obtenemos una simulación con las correlaciones iniciales, y variables con distribución normal con medias y desviaciones estándares calculadas inicialmente.

En la sección de anexos *Anexo C: Algoritmo de Simulación de Variables*, se explica con mayor detalle el código utilizado para la generación de datos simulados.

9.2.5. Validación Modelo

Esta actividad es realizada en varias iteraciones, y tiene como objetivo ajustar los parámetros del modelo hasta que este razone de manera muy similar al criterio experto de un humano.

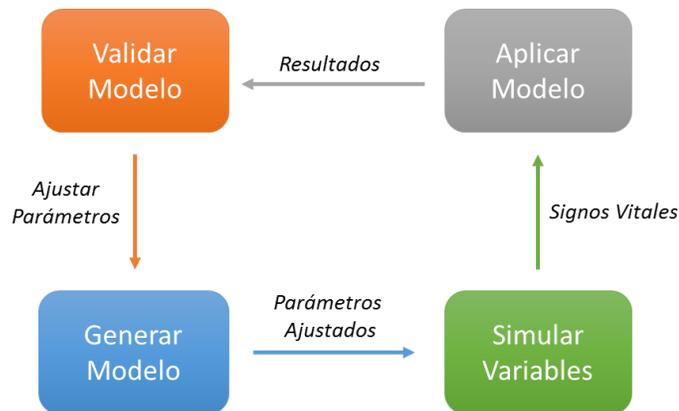


Ilustración 42: Secuencia Validación Modelo (Elaboración propia)

En la ilustración 42 se aprecia la secuencia a seguir para la validación del modelo predictivo. Este funciona de manera iterativa generando el modelo inicialmente, posteriormente los signos vitales son simulados y el modelo es aplicado, para que finalmente los resultados de este sean validados por el equipo experto. En las siguientes iteraciones los parámetros del modelo son ajustados hasta que los resultados de este en los datos simulados muestren resultados aceptables.

9.3. Envío de Notificaciones

Una vez que el sistema detecta que existe alguna alerta preventiva, la notificación al equipo médico sigue una lógica que será definida a continuación. Con el objetivo de que efectivamente se logre tomar acciones correctivas ante posibles complicaciones detectadas por el sistema, se debe contar con una lógica capaz de anteponerse ante retrasos en las respuestas de los actores encargados.

Como fue explicado anteriormente, existen dos tipos de alertas, las que son generadas cuando existe información suficiente, y aquellas generadas cuando falta información sobre los indicadores de salud transmitidos.

Para las alertas en donde los registros son transmitidos correctamente, la alerta es enviada directamente al médico designado, aquél que en el sistema aparece con tal rol. Para alertas con riesgo moderado o alto, deberán ser confirmadas dentro de un intervalo de tiempo definido, de no ocurrir esto, estas serán reenviadas a distintos actores, hasta que su recepción haya sido confirmada en el sistema.

Para aquellas alertas en donde falta información, se establecen dos niveles de tolerancia. El primero, cuando falta información transmitida, y el sistema prevea que puede existir un riesgo latente en el deterioro de la salud. En este caso la alerta es enviada directamente al médico encargado y al cuidador del paciente, y se sigue el mismo procedimiento anterior. Para el caso de que la información faltante sobrepase la tolerancia aceptada por el sistema, pero que no exista un riesgo en la condición de salud, esta alerta es enviada directamente al cuidador, y no requiere que sea confirmada dentro de un intervalo definido de tiempo.

En la ilustración 43 se puede ver la lógica genérica de notificación para aquellas alertas más graves. Las alertas graves son aquellas gatilladas cuando existe información completa, para niveles de riesgo moderado o alto, y cuando falta información en los registros transmitidos, pero el sistema establece que puede existir riesgo en la salud del paciente.

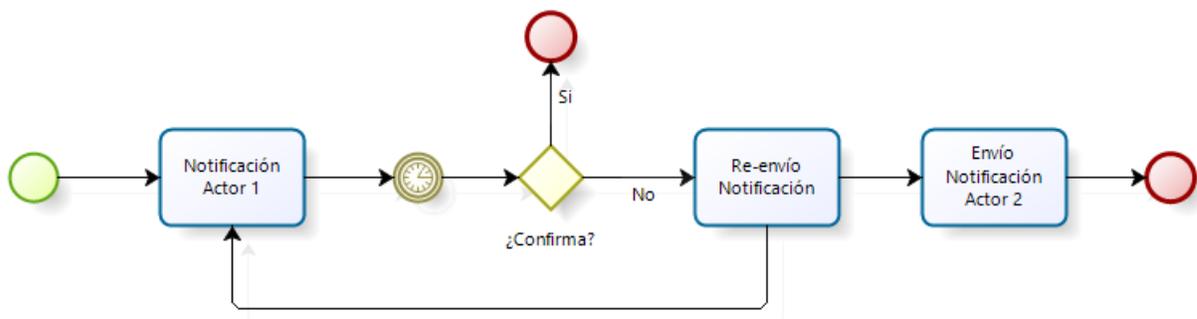


Ilustración 43: Lógica Genérica Alertas Graves (Elaboración propia)

De manera constante se estará aproximando el riesgo en el que está el paciente, esto se hará utilizando el máximo riesgo de alertas emitidas en las últimas 24 horas. Esto con el objetivo de detectar posible riesgo cuando los datos no son transmitidos correctamente. Como fue mencionado anteriormente, cuando falta información la alerta puede ser remitida al cuidador o también al médico encargado. La lógica para esto es como sigue:

Sea A^{24} las alertas emitidas en las últimas 24 horas para un determinado paciente, en el caso de que $\text{Max}(A^{24})$ sea moderado o alto, entonces remitir alerta a médico y cuidador. De lo contrario, remitir alerta sólo a cuidador del paciente.

Una vez que el sistema detecta una posible complicación y remita la alerta, esta pasará por tres estados distintos: *Stand By / No Vista*; *Stand By / Vista*; *Resuelta (Confirmada o Ignorada)*.



Ilustración 44: Secuencia de Estados para Alertas Emitidas (Elaboración propia)

Como se aprecia en la ilustración 44, una vez que se detecta la complicación, se notifica automáticamente al profesional y la alerta pasa a un estado *Stand By / No Vista*, una vez que el profesional visualice la alerta, esta cambiará al estado *Stand By / Vista*. Finalmente, cuando la alerta sea resuelta, ya sea si esta es confirmada, es decir, que una acción correctiva fue realizada, o bien si esta es ignorada, lo que significa que ninguna acción es realizada, la alerta pasará a un estado *Resuelto*. La clasificación en distintos estados permite determinar en qué momento la alerta será notificada al resto del personal encargado del paciente. En la tabla 15 se aprecia el límite de tiempo para que cada alerta alcance un determinado estado. Por ejemplo, para alertas de gravedad alta, existirá una tolerancia máxima de 5 minutos para que esta sea vista, y un tiempo de 15 minutos para que esta sea resuelta.

Riesgo\Estado	Stand By/Vista	Resuelta
Alto	5 min	15 min
Medio	5 min	25 min
Bajo	10 min	60 min

Tabla 15: Tiempos de Tolerancia por Estado y Riesgo (Elaboración propia)

10. Apoyo Computacional

El presente capítulo busca explicar el funcionamiento del apoyo computacional del prototipo que se busca implementar. La estructura del diseño de las aplicaciones computacionales se lleva a cabo en distintas etapas. En primer lugar, se describe el esquema del *framework*¹³ del apoyo computacional, estableciendo un marco general de las principales componentes del sistema. Posteriormente, se utiliza la metodología UML (*Unified Modeling Language*) para describir las distintas interacciones humano-sistema y las interacciones internas de la aplicación computacional.

10.1. Framework Sistema de Apoyo Computacional

Un *framework* define en términos generales un conjunto estandarizado de conceptos, prácticas y criterios para enfocar un tipo de problemática particular que sirve como referencia para enfrentar y resolver nuevos problemas de índole similar. En el contexto de desarrollo de software, un *framework* es una estructura conceptual y tecnológica del soporte definido, normalmente con artefactos o módulos de software concretos. A continuación se explicarán las componentes principales del *framework* del apoyo computacional del proyecto.

Uno de los principales objetivos buscados con el apoyo computacional a implementar es que este sea flexible ante posibles cambios, y escalable ante una mayor complejidad del sistema, es por esto que se opta por realizar una Arquitectura orientada a Servicios (SOA), como base del *framework* de apoyo.

10.1.1. Componentes Framework

El prototipo a implementar presenta cuatro grandes sub-sistemas:

- Interfaz de Adquisición de Datos
- Sistema de Manejo de Lógica de Negocio
- Sistema de Manejo de Datos
- Interfaz de Despliegue de Información

¹³ Framework: Palabra en inglés para referirse a un marco de trabajo.

10.1.1.1. Interfaz de Adquisición de Datos

Esta interfaz permite la captura de datos desde el hogar del paciente hacia el servidor del hospital. Existen dos tipos de interfaz usuaria para la adquisición de datos: Sensores y Formulario Web.

Sensores: Para realizar una transmisión más efectiva y menos invasiva, se propone el uso de sensores o dispositivos que puedan ser usados por el paciente de manera móvil. La función de estos dispositivos es transmitir de manera automática y sin intervención humana indicadores como signos vitales del paciente, de esta forma, el paciente sólo deberá conectarse los sensores, para que estos sean transmitidos automáticamente hacia los servidores del hospital.

Formulario Web: Como se ha comentado anteriormente, existen otros indicadores determinantes en la condición de salud del paciente y que no pueden ser transmitidos de manera automática a través de dispositivos electrónicos, los cuales requieren intervención humana para su transmisión. Estos indicadores son aspectos visuales y cualitativos del paciente, por lo tanto, estos sólo podrían ser evaluados mediante interacción directa del cuidador. Para realizar lo anterior se propone utilizar formularios web, en donde los cuidadores de los pacientes registrarán en estos formularios los aspectos más cualitativos del paciente.

10.1.1.2. Sistema de Manejo de Lógica de Negocio

Este sistema está encargado de procesar toda la lógica del negocio, basándose principalmente en la utilización de servicios web. Funciona de manera autónoma y recibe peticiones por parte del cliente web y cliente móvil. Estas peticiones incluyen parámetros como input, y una vez que el servicio web recibe estos parámetros procede a ejecutar el servicio solicitado, retornando la información solicitada al cliente. Dentro de estos servicios web es posible destacar los siguientes:

- Actualización de nuevos registros de los indicadores de salud del paciente, estos son datos provenientes de los sensores y de la interfaz web. El servicio recibe como input los nuevos datos, y luego actualiza la base de datos.
- Búsqueda de registros anteriores como indicadores de salud el paciente o alertas emitidas. El servicio recibe como input el tiempo a analizar y el tipo de indicador, entregando la información en los períodos solicitados.
- Lógica asociada a la asignación del estado de salud de los pacientes. Para esto el servicio web se integra con el motor de ejecución del modelo predictivo y posteriormente ejecuta la lógica que asigna el nivel de riesgo. El servicio recibe como input los nuevos datos transmitidos y ejecuta la lógica de clasificación de riesgo.

- Envío de notificaciones cuando se detecte que existe una alerta. Estas son notificaciones al mail y al dispositivo móvil. Este servicio es gatillado por el servicio anterior, y recibe como input el nivel de gravedad detectado por el sistema, para la posterior ejecución de la lógica de envío de notificaciones.

10.1.1.3. Sistema de Manejo de Datos

El manejo de la base de datos organiza los datos provenientes por parte del domicilio del paciente, cómo también datos ya estructurados en las bases de datos del hospital, que en este caso serían principalmente las fichas médicas de los pacientes, datos generados por el modelo predictivo, y las acciones y alertas preventivas generadas por el sistema. La base de datos recibe peticiones por parte de los servicios web, respondiendo estas peticiones al mismo servicio web con la información solicitada.

10.1.1.4. Interfaz de Despliegue de Información

Actualmente, los médicos encargados de estos pacientes presentan una gran carga de trabajo, lo que dificulta que tengan a su disposición algún computador o cliente web para verificar la información. Debido a lo anterior, es que se realizan dos aplicaciones, una a nivel web, y otra aplicación móvil.

Ambos clientes, de decir, el móvil y el web, realizan peticiones a los servicios web, y en estas peticiones se ingresan los parámetros, de esta forma el servicio recibe los parámetros, ejecuta la lógica y retorna la información a los usuarios.

En la ilustración 45 es posible ver un diagrama de la arquitectura de sistemas propuesta.



Ilustración 45: Framework Sistema Atención Domiciliaria (Elaboración propia)

10.1.2. Arquitectura REST

Anteriormente se explicó que el prototipo a implementar utiliza como base una arquitectura orientada a servicios. Y con el objetivo de mantener un sistema sencillo de diseñar, es que se opta por una arquitectura de servicios tipo REST (*Representational State Transfer*). La principal ventaja de esta arquitectura es que puede describir cualquier interfaz web simple que utiliza XML y HTTP¹⁴, sin las abstracciones adicionales de los protocolos basados en patrones de intercambio de mensajes, como el protocolo de servicios web SOAP¹⁵.

En la ilustración 46 es posible ver de manera general las interacciones entre el cliente y el servidor del prototipo que se busca implementar como solución. Cabe destacar acá que es el cliente móvil el cual utiliza de manera cabal estos servicios REST, ya que la aplicación web cuenta con parte del procesamiento de los datos en el mismo servidor.

El cliente móvil utiliza HTML y *Javascript*¹⁶, y un motor de procesos AJAX (*Asynchronous JavaScript And XML*). AJAX permite ejecutar aplicaciones en el cliente manteniendo una comunicación asíncrona con el servidor en segundo plano. El objetivo de lo anterior es que el cliente móvil sea capaz de realizar consultas al servidor de manera rápida y sencilla. Para realizar esto, y evitar los problemas que surgen al realizar peticiones en dominios distintos, se realizan peticiones en formato *JSONP* (*JSON with Padding*). Estas peticiones son realizadas directamente por el motor AJAX del cliente, luego el servidor REST recibe estas solicitudes retornando la información en formato *JSONP*. Finalmente el motor AJAX procesa los resultados para que estos puedan ser desplegados en el cliente.

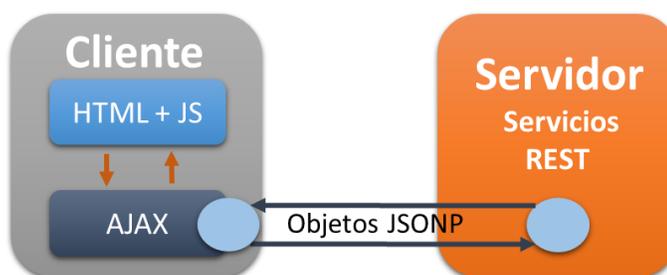


Ilustración 46: Interacción Cliente Servidor REST (Elaboración propia)

¹⁴ HTML: HyperText Markup Language. Hace referencia al lenguaje de marcado para la elaboración de páginas web.

¹⁵ SOAP: Simple Object Access Protocol. Protocolo para intercambiar información estructurada.

¹⁶ Lenguaje de programación interpretado.

10.1.3. Sistema de Notificaciones GCM

Uno de los principales elementos del prototipo es que este sea capaz de gatillar alertas preventivas, y en conjunto con esto, acciones correctivas hacia el paciente. Para efectuar lo anterior, este debe enviar notificaciones al dispositivo móvil una vez que se detecte una posible complicación de salud. Para esto se hace utilización del servidor **GCM** (*Google Cloud Messaging*). El servidor GCM permite enviar data proveniente desde un formulario web, hacia la aplicación móvil.

El objetivo de la nube GCM es que en el momento que el sistema detecta que existe una alerta, el servidor web envía una petición a GCM para que este envíe una notificación al dispositivo móvil. De esta manera, la aplicación móvil está totalmente sincronizada con el servidor, y en caso de que se detecte una alerta, esta recibe de manera inmediata una notificación.

En la ilustración 47 se aprecia un esquema general del funcionamiento de GCM. La petición es enviada en primer lugar al servidor del hospital, luego este envía un mensaje al servidor GCM, y finalmente este último envía la notificación a la aplicación móvil.

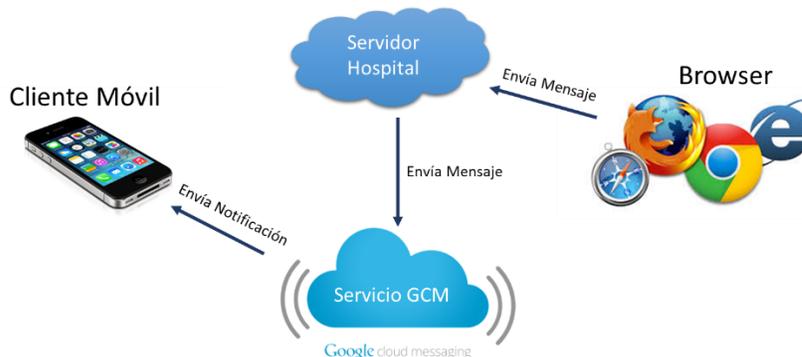


Ilustración 47: Funcionamiento Google Cloud Messaging (Elaboración propia)

10.2. Diseño de Sistemas de Apoyo

A continuación se hará uso de la metodología UML para explicar el diseño de las aplicaciones computacionales. Este es el lenguaje de modelado de sistemas de software más conocido y utilizado en la actualidad. Es un lenguaje gráfico para visualizar, especificar, construir y documentar un sistema. Permite modelar comportamientos y estructuras internas de los sistemas. Si bien existen varios diagramas para modelar comportamiento, el que será utilizado en este informe es el diagrama de caso de uso. Este diagrama define principalmente cuales son las interacciones entre humanos y el sistema. Para modelar las estructuras internas y las interacciones del sistema se utilizarán diagramas de secuencia, diagramas de clases, diagramas de paquetes y diagramas de datos.

10.2.1. Diagrama de Caso de Uso

Los diagramas de caso de uso describen las principales interacciones que existen entre las personas y el sistema. A continuación se muestran los diagramas de caso de uso de aquellos procesos que presentan una lógica con apoyo computacional y que además son implementados en el prototipo del proyecto.

10.2.1.1. Programar Tratamiento

Una de las componentes principales del sistema es que este debe registrar aquella información relacionada a los profesionales médicos encargados de los pacientes, y la frecuencia necesaria de transmisión de cada indicador de salud. Lo anterior es apreciado en la Ilustración 29. El objetivo principal de este caso de uso es determinar quienes estarán encargados de velar por la salud de cada paciente, en conjunto con establecer los turnos semanales de cada personal médico, esto para el envío de notificaciones preventivas. A continuación se describen las principales funcionalidades de la programación del tratamiento domiciliario.

- **Asociación de Profesional Médico a cada Paciente:** Establecer quienes serán los profesionales médicos encargados de monitorear la condición de salud de cada paciente.
- **Ingresar Turnos Semanales:** Esta actividad será desarrollada semanalmente, en ella se debe registrar el turno que tendrá cada profesional médico, con esto se tendrá total conocimiento de la disponibilidad de cada profesional para efectos de tomar acciones preventivas.
- **Establecer Frecuencia Necesaria de Transmisión de Indicadores:** Como se ha explicado anteriormente, varios indicadores serán monitoreados, y estos miden distintos aspectos de la salud del paciente, por lo tanto, la relevancia de cada uno de estos no es la misma. En consecuencia, se debe registrar en el

sistema la frecuencia necesaria de transmisión de cada indicador de salud, para cada tipo de paciente.

Las funcionalidades anteriores pueden ser apreciarse en el caso de uso de la ilustración 48.



Ilustración 48: Caso de Uso: Programar Tratamiento (Elaboración propia)

10.2.1.2. Control del Sistema

En la ilustración 32 se aprecia la secuencia de actividades asociada al control del sistema. Antes de explicar en detalle este diagrama, cabe mencionar como este funciona. En primer lugar, se ha definido con el nombre de “*Entidad Externa*”, a aquellos elementos a través de los cuales se ingresan los datos al sistema de monitoreo. Los datos serán capturados principalmente a través de sensores, en donde se capturan los signos vitales los cuales son transmitidos de manera automática.

Una vez que los datos son capturados por el sistema, se ejecuta el monitoreo del estado de salud. Este monitoreo es constante y consta de tres actividades.

Ejecución del Modelo Predictivo: Esta actividad es ejecutada siempre que son transmitidos los nuevos datos del paciente. Una vez que se capturan estos datos, se ejecuta automáticamente el modelo predictivo.

Asignación del Nivel de Riesgo: Esta lógica es ejecutada de manera constante, y utiliza como input los datos del modelo predictivo, y la periodicidad de transmisión de datos del paciente. En el caso de que los datos sean transmitidos correctamente, se ejecuta el modelo predictivo, y posteriormente la lógica de asignación de nivel de riesgo del paciente. Por otro lado, de ocurrir que los datos no sean transmitidos correctamente, se ejecuta la lógica de asignación de riesgo en función de los últimos valores transmitidos y el riesgo del paciente.

Envío de Notificaciones: Esta actividad no siempre es ejecutada, sino que sólo cuando el sistema detecta que se ha generado una alerta preventiva. De cumplirse lo

anterior, se ejecuta una lógica de envío de notificaciones hacia los actores pertenecientes al equipo médico encargado del paciente.

Las funcionalidades anteriores es posible apreciarlas en la ilustración 49.



Ilustración 49: Caso de Uso: Control del Sistema (Elaboración propia)

10.2.1.3. Monitoreo Equipo Multidisciplinario

En la Ilustración 34 se puede ver el proceso asociado al monitoreo que realiza el equipo multidisciplinario una vez que se emite una alerta preventiva a través de un protocolo establecido. El caso de uso está asociado a la actividad de *evaluar información del paciente*. El actor notificado al analizar los datos de los pacientes, puede ejecutar tres tipos de actividades. La primera, analizar los datos por paciente, actividad llamada **“Gestión de Pacientes”**. En esta actividad el profesional de salud puede analizar si el paciente ha tenido descompensaciones anteriores, la evolución en el tiempo de los indicadores de salud, o bien realizar modificaciones a los estados basales y rangos de normalidad de los indicadores de salud del paciente. En la ilustración 50 es posible ver que la gestión de pacientes permite tres posibles interacciones con el sistema:

Ver Datos del Paciente: El profesional de salud puede ver información como el nombre, edad, sexo, diagnóstico y últimas crisis, entre otros datos asociados al paciente.

Analizar Indicadores: Información relacionada a los indicadores de salud del paciente. Estos pueden ser signos vitales, oxígeno administrado, entre otros. En esta actividad el profesional de salud puede ver cómo se comportan estos indicadores en el tiempo.

Ingresar/Modificar Indicadores: Esta actividad además de estar relacionada con el monitoreo, lo está con la programación del tratamiento domiciliario, en donde se ingresan los parámetros del paciente. Dentro de estos parámetros podemos destacar los indicadores basales, rangos de normalidad para cada signo vital, entre otros.

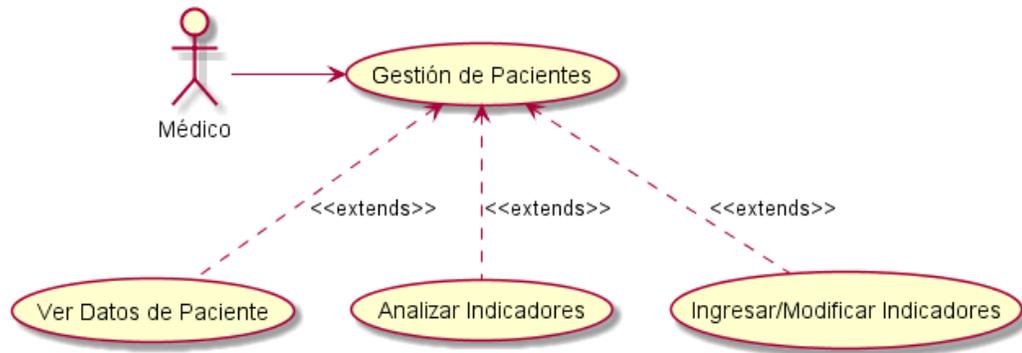


Ilustración 50: Caso de Uso: Gestión de Pacientes (Elaboración propia)

La segunda actividad, tiene que ver con analizar las alertas preventivas que se han generado, actividad llamada **“Gestión de Alertas”**. En esta actividad es posible ver el detalle de cada alerta, en donde se puede visualizar la información asociada a la alerta preventiva. Además de esto, cada vez que se genera una alerta, en el sistema esta debe ser “resuelta”. Por resuelta se entiende que se debe registrar en el sistema si es que la alerta debe ser descartada, es decir, que ninguna acción posterior será realizada, o bien si es que esta debe confirmarse. En caso de confirmar la alerta, se debe seleccionar la acción correctiva a seguir. Por acción correctiva se entiende como la acción a realizar como medida de prevención hacia el paciente para evitar una posible crisis, pudiendo ser un llamado telefónico al cuidador, una visita al domicilio no programada, entre otras.



Ilustración 51: Caso de Uso: Gestión de Alertas (Elaboración propia)

10.2.2. Diagrama de Secuencia de Sistema

El diagrama de secuencia es usado para modelar interacciones entre objetos en un sistema. Muestra la interacción en una aplicación a través del tiempo y se modela para cada caso de uso. En una primera instancia, el diagrama de secuencia de sistema muestra de manera general la interacción entre la aplicación y el usuario. A continuación se muestran los distintos diagramas de secuencia de sistema que se desprenden de los casos de uso anteriormente explicados.

10.2.2.1. Programar Tratamiento

Si bien este caso de uso posee tres actividades que no son estrictamente secuenciales unas con otras, para simplificar su modelamiento, fueron modeladas como si fueran realizadas de manera secuencial. En primer lugar, el profesional de salud encargado debe asignar los recursos médicos encargados para cada paciente, estas serán las personas que se harán responsables de la evolución en la condición de salud del paciente. Luego se deben ingresar los turnos de cada personal médico al sistema. Cabe mencionar que esta actividad deberá ser realizada semanalmente, ya que los turnos de los profesionales de salud suelen cambiar en cada semana. Finalmente, se debe ingresar en el sistema la frecuencia necesaria de transmisión de cada indicador de salud, para cada paciente.

La secuencia anterior se puede apreciar en la ilustración 52.

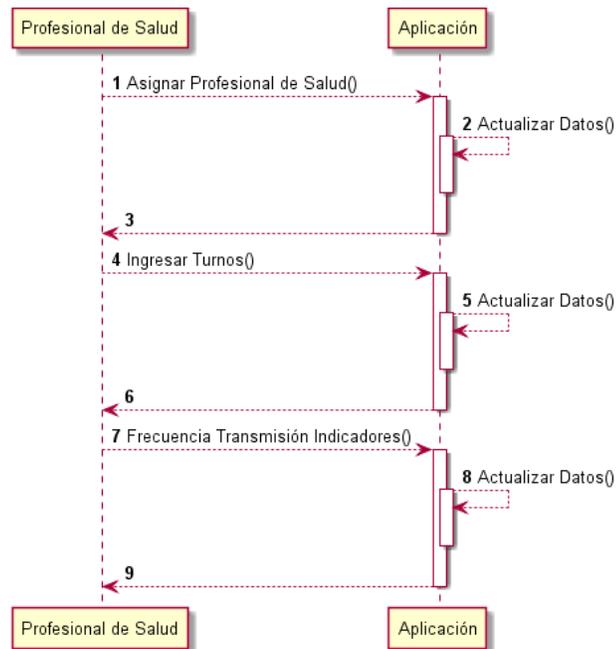


Ilustración 52: Diagrama de Secuencia de Sistema: Programar Tratamiento (Elaboración propia)

10.2.2.2. Control del Sistema

Como se explicó en el caso de uso asociado, existen básicamente dos entidades, la primera, llamada “*Entidad Externa*”, que representa a lo externo del sistema, que en este caso serán principalmente sensores. Y la segunda, representada por la aplicación.

En el caso de que los datos sean capturados correctamente a través de esta entidad externa, la aplicación realiza una actualización de la base de datos con los nuevos registros, ya que estos datos son utilizados como input para el modelo predictivo. Una vez actualizada la base de datos, es ejecutado el modelo predictivo en conjunto con la lógica de asignación de riesgo. Una vez realizado lo anterior, puede ser el caso de que exista un deterioro en la salud del paciente, de cumplirse esto, se envía una notificación a la aplicación móvil del actor designado, y automáticamente se asigna un estado de “*Stand By / No Vista*” a la alerta enviada.

Como fue explicado, puede ocurrir que los datos no sean transmitidos correctamente. De ser así, se ejecuta una lógica de respaldo que usa como base el máximo riesgo emitido en las últimas 24 horas. El caso base ocurre cuando ningún indicador es transmitido. Cuando sucede esto, la aplicación corre automáticamente una lógica que utiliza los datos de las alertas emitidas en las últimas 24 horas, buscando el máximo riesgo de las alertas emitidas. Por efectos de simplicidad, a este método se le llamará como *Buscar Última Predicción*.

El diagrama de secuencia de sistema del control del sistema se muestra con mayor detalle en la ilustración 53.

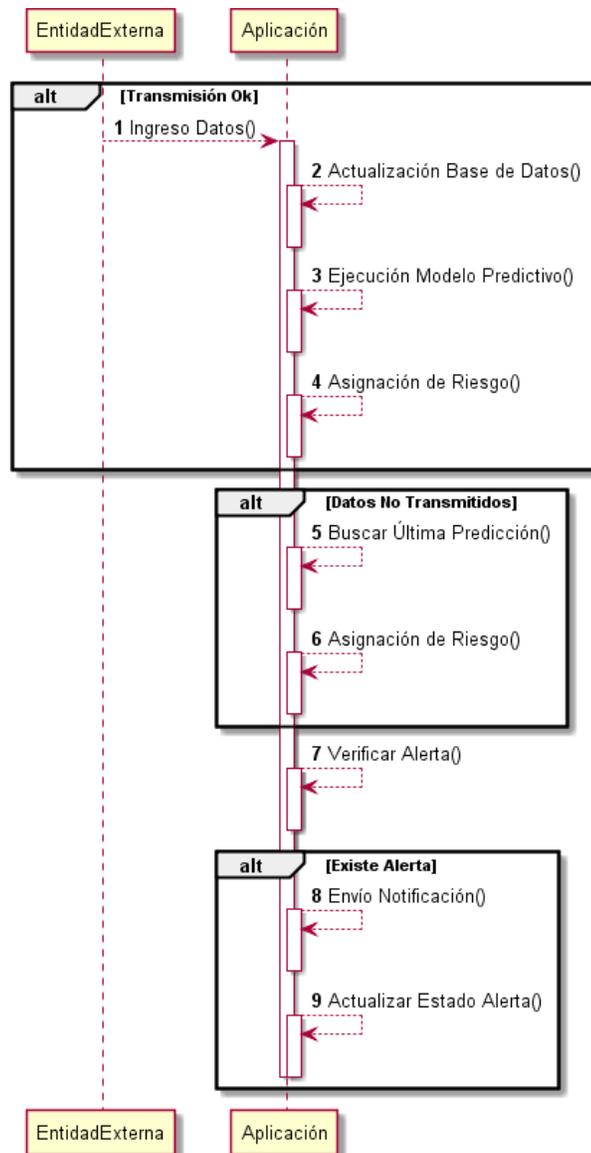


Ilustración 53: Diagrama de Secuencia de Sistema: Control del Sistema (Elaboración propia)

10.2.2.3. Gestión de Pacientes

En primer lugar, el profesional de salud ingresa los datos del paciente, y el sistema despliega la información disponible de este, así como también otras opciones como analizar indicadores pasados, o modificar otros parámetros.

Para efectos de modelamiento del diagrama, se hace la distinción entre las funciones exclusivas de la aplicación web, ya que si bien ambas aplicaciones tienen objetivos similares, difieren en algunos aspectos en su funcionamiento para obtener la información, por lo que se hace esta distinción para un modelamiento más preciso.

Aclarado lo anterior, se muestra primero que sucede en la aplicación web una vez que el profesional de salud ingresa los datos del paciente. El actor puede visualizar la información de los últimos indicadores transmitidos, de ser así, el sistema despliega la información requerida. Posteriormente, en ambas aplicaciones el usuario puede hacer un análisis más profundo de los indicadores que desee, seleccionando el rango de fechas a analizar.

Otra opción que posee el usuario en la aplicación web es ingresar -en caso de que no se hayan ingresado- o modificar los valores basales de los signos vitales del paciente. Para esto el sistema despliega un formulario en donde el profesional de salud puede ingresar o modificar los valores que estime pertinentes.

La interacción anteriormente descrita se traduce en el diagrama de secuencia de la ilustración 54.

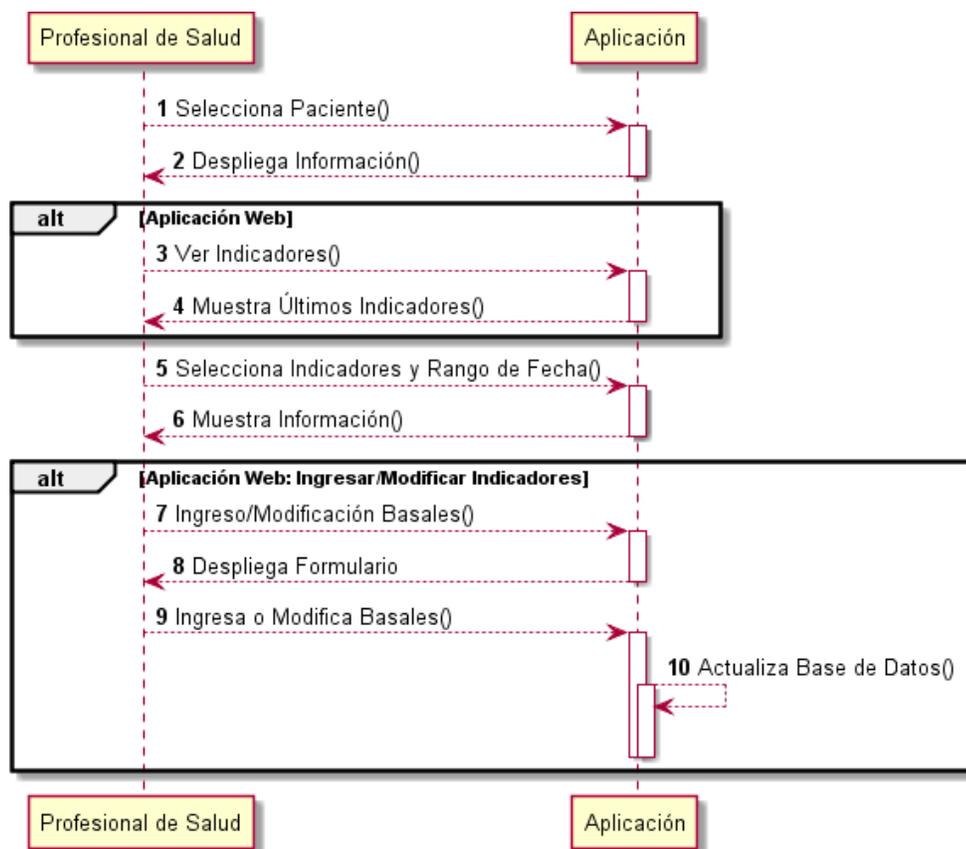


Ilustración 54: Diagrama Secuencia de Sistema: Gestión de Pacientes (Elaboración propia)

10.2.2.4. Gestión de Alertas

En primer lugar, el profesional de salud debe solicitar al sistema el detalle de la alerta generada. Posteriormente, el sistema buscará estos datos en la base de datos

desplegando la información. Una vez realizado esto, el profesional de salud puede ver el detalle del paciente asociado a la alerta generada, pero para efectos de modelamiento, esta opción no es mostrada en este diagrama de secuencia, ya que su funcionalidad es explicada en el diagrama de *Gestión de Pacientes*.

Además de lo anterior, en la aplicación móvil es posible realizar una “resolución” de la alerta, es decir, realizar una confirmación de la recepción de esta, y en caso de que se requiera realizar una acción correctiva, solicitar esto al sistema, para que luego este despliegue las acciones disponibles. Finalmente, el profesional de salud seleccionará la acción correctiva a realizar, actualizándose el estado de la alerta.

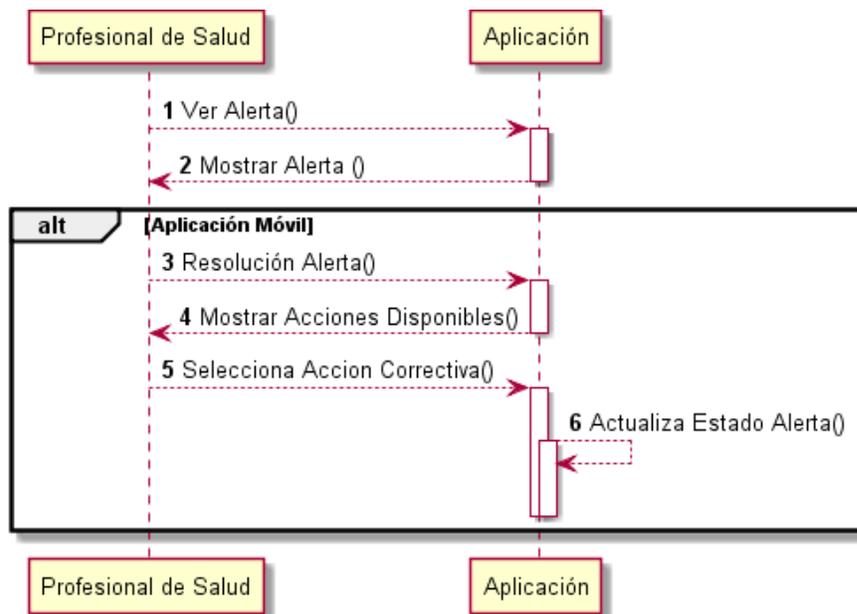


Ilustración 55: Diagrama de Secuencia de Sistema: Gestión de Alertas (Elaboración propia)

10.2.3. Diagrama de Secuencia Extendido

Una vez diseñados los diagramas de secuencia de sistema, el siguiente paso corresponde a generar los diagramas de secuencia extendidos con las distintas clases lógicas que interactúan entre sí.

Para el diseño de los diagramas de secuencia extendidos se utilizará la arquitectura Modelo Vista Controlador (MVC), en donde la vista está representada por un único formulario de entrada, y uno de salida para simplificar el diagrama.

El objetivo de este tipo de diagramas es describir las interacciones entre las componentes del sistema pero a un nivel mucho más específico, detallando todas las clases involucradas, y todos los métodos utilizados.

Dentro de este diagrama es posible encontrar tres tipos de clases. Clases tipo *Vista*, que interactúan directamente con el usuario, y no representan una clase propiamente tal con métodos de programación, ya que son utilizadas principalmente para representar formularios en donde los usuarios ingresan los datos. Las clases tipo *Control* poseen métodos que “orquestan” las otras clases, es decir, métodos que coordinan las solicitudes entre la capa de *Vista* y las clases que acceden directamente a los datos. Estas clases también pueden tener métodos que ejecutan lógicas complejas del negocio. Por último, se tiene la clase tipo *Entity*. La principal función de esta clase es recibir requerimientos por parte de clases tipo *Control* y ejecutar las consultas necesarias a la base de datos, para posteriormente retornar los datos solicitados.

10.2.3.1. Programar Tratamiento

En este diagrama interactúan cuatro clases. Una tipo *Vista*, encargada de interactuar con el profesional de salud, disponiendo de formularios para ingresar los datos. Una clase de *Control*, que coordina los requerimientos por parte del profesional de salud, y las clases que acceden a los datos del paciente y del personal médico. Y dos clases tipo *Entity*, las cuales acceden a los datos del paciente (*Paciente*), y los datos del personal médico (*Personal Médico*).

En primer lugar, el profesional de salud debe asignar el recurso médico al paciente, luego estos requerimientos son recibidos por la clase *Controlador*, la cual solicita a la clase *Paciente* actualizar los datos. Posteriormente, se debe ingresar semanalmente los turnos de cada profesional médico en el sistema. En esta secuencia la clase *Controlador* traspasa estos requerimientos a la clase *Personal Médico*, la cual realiza una actualización de los turnos semanales. Finalmente, se debe ingresar en el sistema la frecuencia necesaria de transmisión para cada indicador de salud.

La interacción entre las distintas clases puede apreciarse con mayor detalle en la ilustración 56.

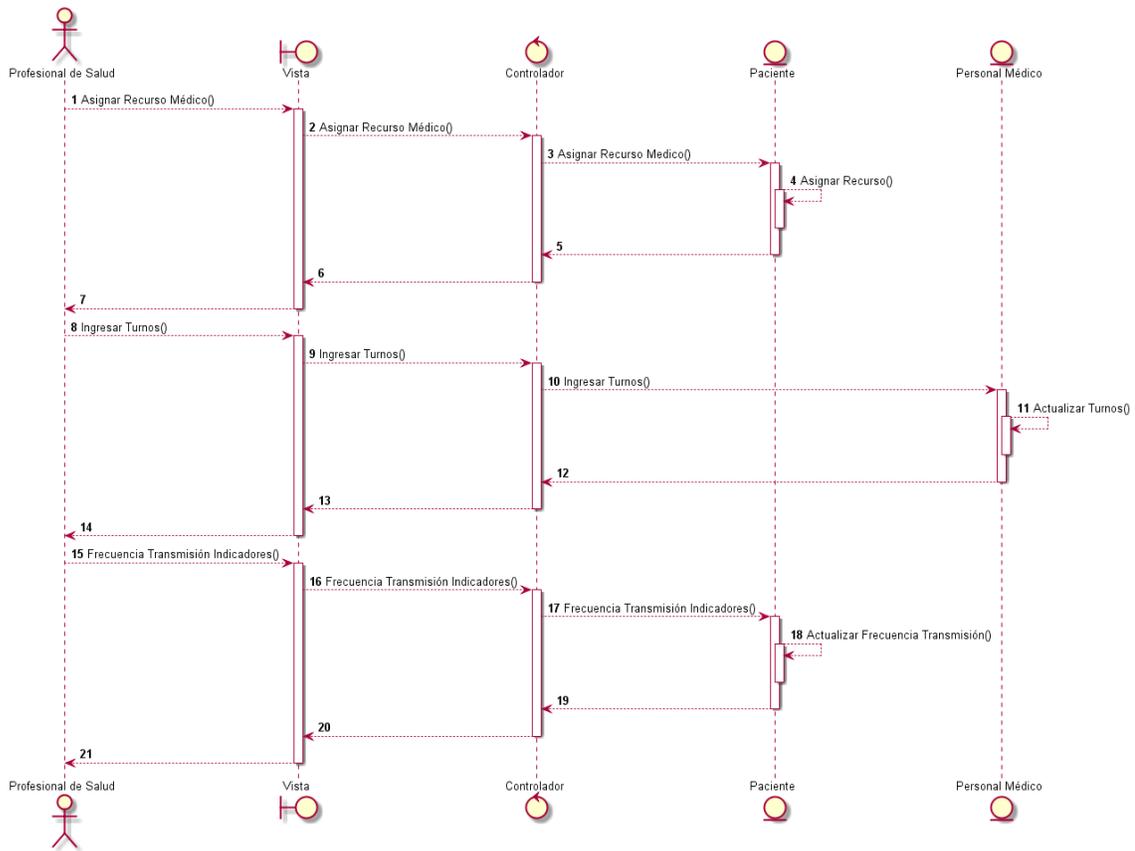


Ilustración 56: Diagrama de Secuencia Extendido: Programar Tratamiento (Elaboración propia)

10.2.3.2. Control del Sistema

Esta secuencia presenta una lógica un poco más compleja, por lo que es explicada en tres diagramas de secuencia extendidos. El primero, muestra la interacción que ocurre cuando los datos son transmitidos correctamente por parte de las entidades externas. En esta interacción es posible distinguir una clase de *Vista*, encargada de interactuar con los datos transmitidos por los sensores. Tres clases de *Control*, una que coordina los requerimientos (*Controlador*), otra encargada de ejecutar el modelo predictivo (*Modelo Predictivo*), y otra que asigna el nivel de riesgo (*Asignación de Riesgo*). Y tres clases tipo *Entity*, las cuales acceden a datos de los pacientes (*Paciente*), registros transmitidos (*Registros*), y resultados de predicción de riesgo (*Predicción*). Las clases anteriormente descritas cumplen las siguientes funciones:

- **Vista:** Formulario web de ingreso de datos e interfaz para transmisión de datos a través de sensores.
- **Controlador:** Recibe los requerimientos por parte de la clase *Vista*, solicita a la clase *Registros* que se inserten nuevos registros en la base de datos, luego

solicita la ejecución del modelo predictivo, y envía estos resultados a la clase *Asignación de Riesgo*.

- **Modelo Predictivo:** Una vez que recibe la solicitud por parte del *Controlador*, solicita los nuevos registros transmitidos, en conjunto con los datos del paciente, y ejecuta el modelo predictivo retornando estos resultados a la clase *Controlador*.
- **Asignación de Riesgo:** Recibe los resultados de la clase *Modelo Predictivo*, ejecutando posteriormente la lógica que asignará el nivel final de riesgo del paciente. Finalmente solicita a la clase *Predicción* que actualice estos registros.
- **Paciente:** Recibe la solicitud por parte de la clase *Modelo Predictivo*, ejecutando la búsqueda de los datos del paciente.
- **Registros:** Esta clase actualiza en la base de datos los nuevos indicadores transmitidos y retorna estos indicadores a la clase *Modelo Predictivo* cuando son solicitados.
- **Predicción:** Clase que mantiene los datos asociados a la predicción del paciente. Esta clase actualiza estos datos cuando es ejecutada la lógica de asignación de riesgo.

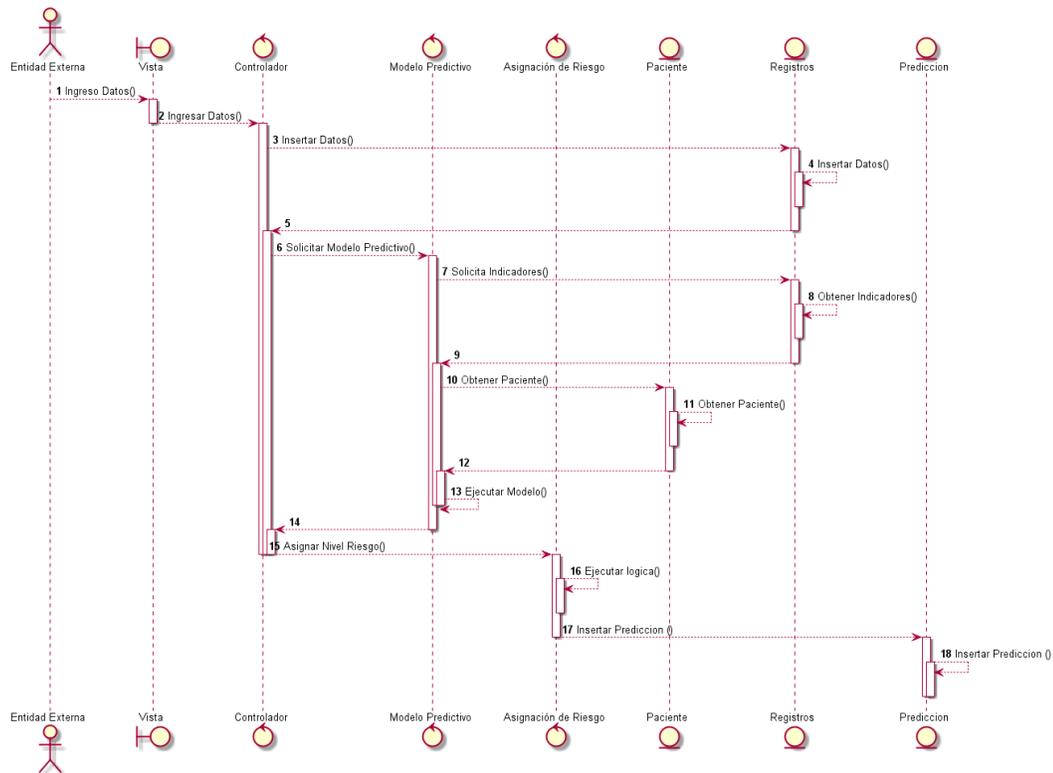


Ilustración 57: Diagrama de Secuencia Extendido: Control del Sistema - Transmisión Correcta de Datos (Elaboración propia)

El segundo diagrama de secuencia está asociado a la interacción que ocurre cuando no existe una transmisión correcta de los datos. Puede existir la posibilidad de que los sensores fallen, por lo tanto, no existe una certeza absoluta para su correcta transmisión. De ser este el caso, una lógica es ejecutada que considera estos factores. Si bien esta lógica requiere de un modelamiento más complejo, ya que puede fallar la transmisión de un indicador independiente de los otros, se realiza la diagramación de su secuencia sólo para el caso de que falle la transmisión de todos los indicadores conjuntamente, es decir, que no se reciban datos en el servidor del hospital. El objetivo de lo anterior es no complejizar el modelamiento, sino que mostrar de manera general la secuencia de interacción entre las distintas clases cuando ocurren problemas de transmisión.

En primer lugar, la clase *Controlador* verificará de manera constante cuando los registros no son transmitidos, almacenando el tiempo desde la última transmisión correcta de los indicadores. Esta clase solicitará los valores de las últimas predicciones de riesgo a la clase *Predicción*, para posteriormente enviar estos resultados a la clase *Asignación de Riesgo*, en donde es ejecutada la lógica de asignación de riesgo, tomando en cuenta los valores de la última predicción, y el tiempo transcurrido sin recibir datos. Finalmente, se le solicita a la clase *Controlador* que actualice los valores de la predicción de riesgo del paciente.

La interacción de esta secuencia es posible apreciarla en la ilustración 58.

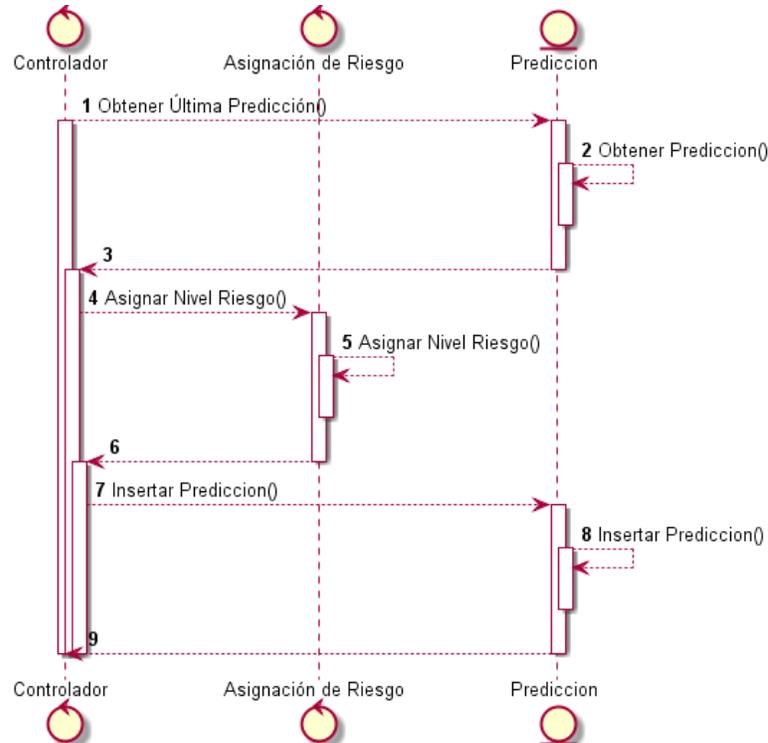


Ilustración 58: Diagrama de Secuencia Extendido: Control del Sistema - Transmisión Incorrecta de Datos (Elaboración propia)

Finalmente, el sistema verifica la necesidad de ejecutar alertas preventivas tomando los últimos valores de la predicción de riesgo del paciente. En esta secuencia existen tres clases de *Control*. La primera, encargada de orquestar las solicitudes entre las distintas clases (*Controlador*), la segunda, encargada de ejecutar la lógica de verificación de alertas (*Verificación Alerta*), y la última clase, encargada de enviar las notificaciones a la aplicación móvil, en el caso de detectar que se ha generado una alerta (*GCM*). Existen dos clases para acceder a los datos. Clase *Predicción*, que busca los resultados de las últimas predicciones de riesgo para la posterior ejecución de la lógica de verificación de alertas, y la clase encargada de insertar en la base de datos los registros asociados a las alertas emitidas (*Alerta*).

La interacción de esta secuencia es posible verla con mayor detalle en la ilustración 59.

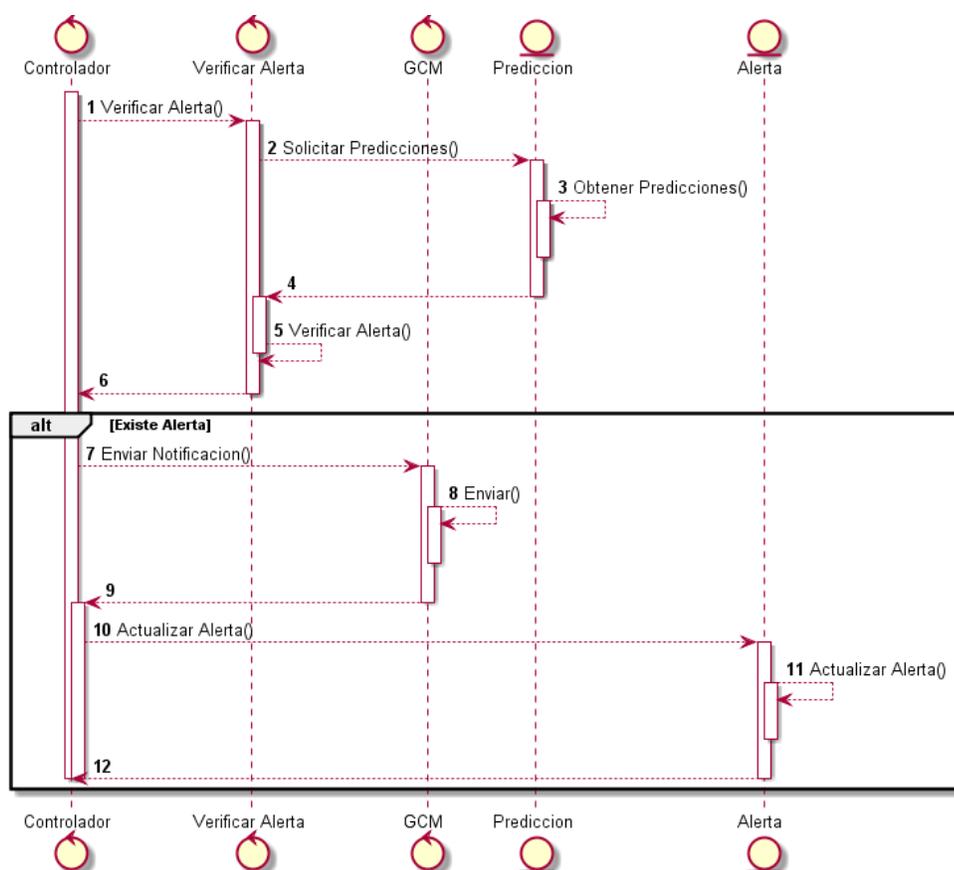


Ilustración 59: Diagrama de Secuencia Extendido: Control del Sistema - Verificación de Alerta (Elaboración propia)

10.2.3.3. Gestión de Pacientes

Esta secuencia describe la funcionalidad de las aplicaciones para gestionar la información relacionada a los pacientes. En esta interacción existe una clase de *Vista*, la cual gestiona la interacción del usuario con la aplicación para solicitar información, y despliega la información solicitada. Otra clase que orquesta las solicitudes provenientes de la clase *Vista* y envía requerimientos a las clases que acceden a los datos (*Controlador*). Y dos clases de acceso a datos, una para acceder a la información del paciente (*Paciente*), y otra que accede a la información asociada a los registros transmitidos (*Registros*).

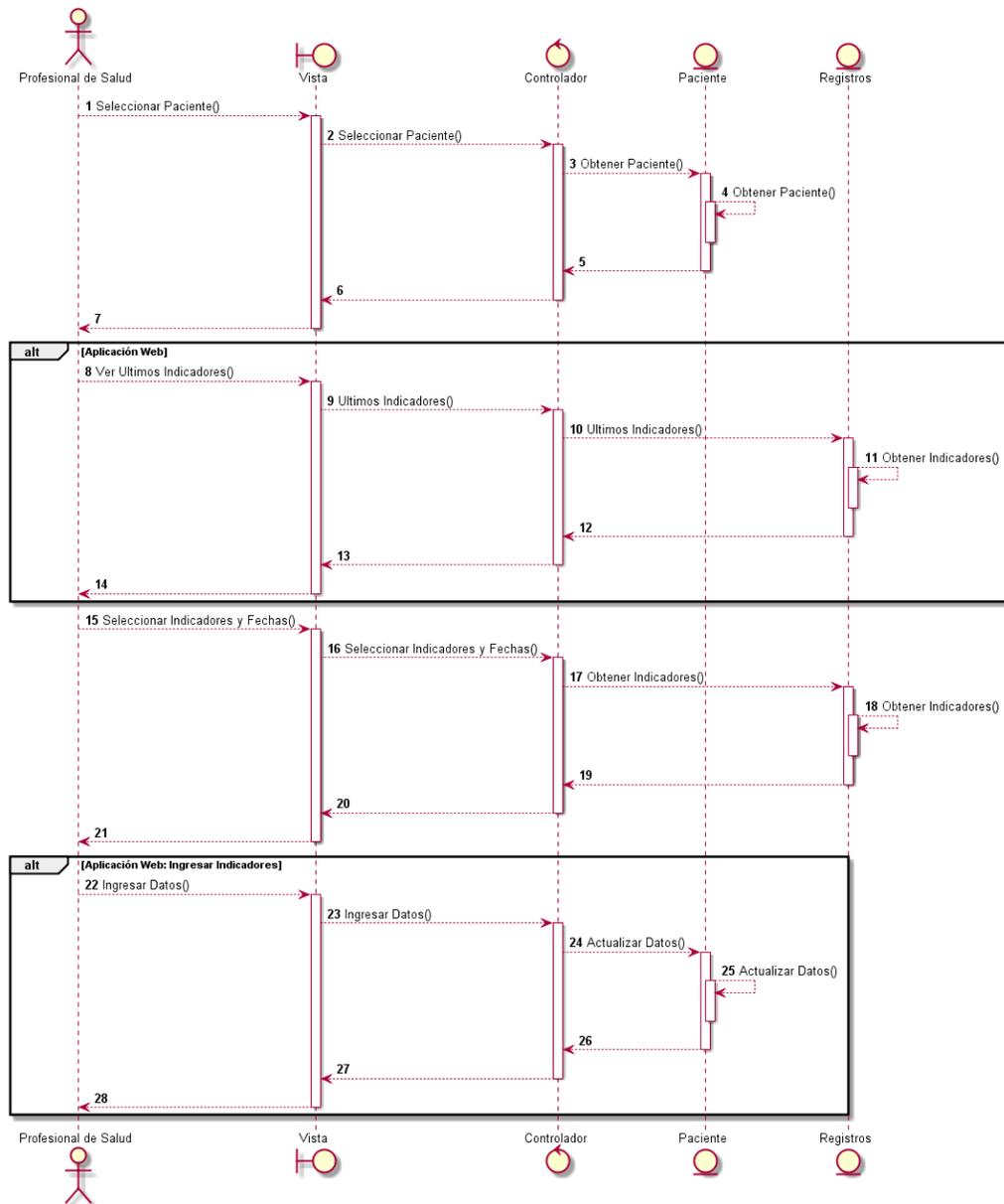


Ilustración 60: Diagrama de Secuencia Extendido: Gestión de Pacientes (Elaboración propia)

La interacción comienza cuando el usuario selecciona el paciente, posteriormente la clase *Controlador* solicita esta información a la clase *Paciente*. Para el caso de la aplicación web, ésta presenta una interacción adicional, en donde el usuario puede seleccionar la opción de ver los últimos indicadores transmitidos. Esta información es adquirida a través de la clase *Controlador* y la clase *Registros*. Luego, en las aplicaciones web y móvil, el usuario puede analizar los indicadores transmitidos, seleccionando los indicadores e ingresando el período a analizar. La clase *Controlador* toma estos requerimientos y solicita la búsqueda de estos datos a la clase *Registros*. Finalmente, en la aplicación web existe la opción de modificar y/o ingresar los parámetros asociados a la condición basal de los pacientes. Para efectos de modelamiento, sólo se muestra el caso de ingreso de información nueva, para no complejizar las interacciones existentes. El profesional de salud ingresa los nuevos datos, estos son recibidos por la clase *Controlador*, la cual después solicita a la clase *Paciente* el ingreso de estos registros.

10.2.3.4. Gestión de Alertas

Esta funcionalidad permite gestionar las alertas emitidas previamente, visualizando aquellas que aún no se encuentran resueltas, aquellas alertas descartadas y las alertas que han generado acciones posteriores. Este diagrama presenta una clase de *Vista*, cuya función es recibir los requerimientos y mostrar los resultados de estos. Una clase de control que coordina las solicitudes por parte del usuario, y el acceso a los datos necesarios para resolver estas solicitudes. Y una clase de acceso a los datos asociados a las alertas emitidas. Las clases anteriormente descritas presentan las siguientes funciones:

- **Vista:** Recibe solicitudes para analizar alertas y gestiona la resolución de estas mostrando posibles acciones a realizar.
- **Controlador:** Coordina la solicitud para analizar alertas, solicitando esta información a la clase *Alerta*. Gestiona la actualización de la información para la resolución de las alertas. En el caso de que ninguna acción correctiva sea realizada, esta clase simplemente solicita la actualización del estado de la alerta, en donde la alerta es descartada. Por otro lado, si es que el profesional de salud determina que si es necesario tomar una acción correctiva, esta clase despliega las acciones disponibles, luego el usuario selecciona la acción a realizar, y finalmente se solicita a la clase *Alerta* actualizar la información.
- **Alerta:** Clase que accede a la información asociada a las alertas emitidas. Realiza búsqueda de información cuando el usuario requiere analizar las alertas, y actualiza el estado de estas cuando son resueltas por el profesional de salud.

El detalle de la interacción asociada a la gestión de alertas se puede apreciar en la ilustración 61.

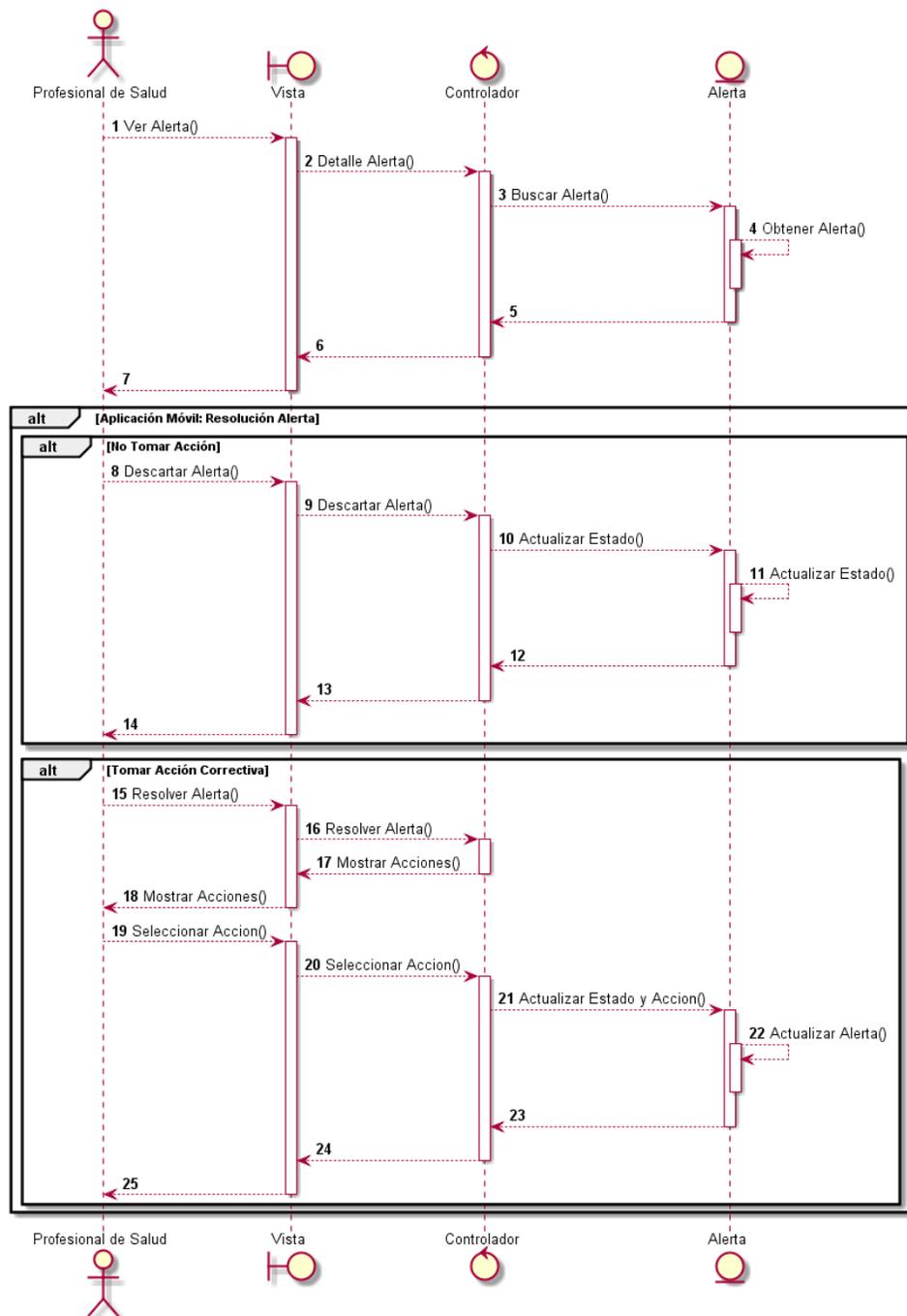


Ilustración 61: Diagrama de Secuencia Extendido: Gestión de Alertas (Elaboración propia)

10.2.4. Diagrama de Clases

Como se pudo apreciar en los diagramas de secuencia extendidos, cada funcionalidad del sistema presenta distintas clases, en donde cada una de estas ejecuta distintos métodos. El objetivo del diagrama de clases es estructurar las clases contenidas en los diagramas de secuencia, definiendo de manera clara los métodos de cada una de ellas, y los parámetros que utilizan para ejecutar estos métodos.

A continuación se explicará el diagrama de clases para cada tipo de diagrama de secuencia definido anteriormente.

10.2.4.1. Programar Tratamiento

En esta secuencia es posible distinguir cuatro clases: Clase Vista, Controlador, Paciente y Personal Médico.

- Vista: Esta clase forma parte del formulario de ingreso de datos, y recibe como parámetros los datos del paciente, profesional médico, horario de turnos e indicadores de salud del paciente.
- Controlador: Clase que recibe los requerimientos desde la Vista e interactúa con la clase *Paciente* y *Personal Médico*. Es la encargada de gestionar la asignación de los recursos médicos, el ingreso de turnos y la frecuencia de transmisión de indicadores.
- Paciente: Clase que accede a los datos del paciente. Recibe la solicitud por parte de la clase *Controlador*, y actualiza los recursos médicos asociados al paciente y la frecuencia de transmisión de indicadores de salud.
- Personal Médico: Clase que actualiza semanalmente los turnos de cada profesional médico.

En la ilustración 62 se aprecia un esquema de las interacciones entre las clases contenidas en la programación del tratamiento domiciliario.

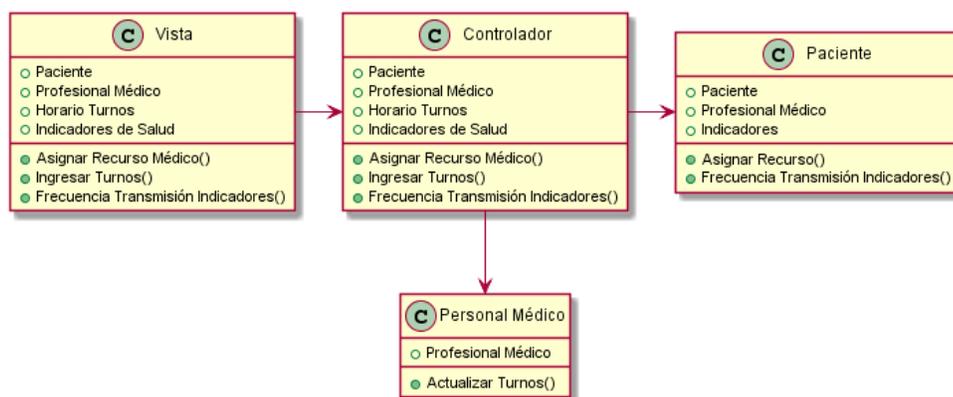


Ilustración 62: Diagrama de Clases: Programar Tratamiento (Elaboración propia)

10.2.4.2. Control del Sistema

Dentro de este diagrama es posible distinguir una clase de Vista, que interactúa directamente con el usuario de la aplicación, entregando estos requerimientos a la clase *Controlador*. Cinco clases de control, una encargada de orquestar todo el proceso (*Controlador*), otra que ejecuta la lógica asociada al modelo de predicción de crisis (*Modelo Predictivo*), otra clase que ejecuta la lógica de asignación del nivel de riesgo (*Asignación de Riesgo*), una clase encargada de verificar la existencia de alertas preventivas (*Verificar Alerta*), y la última clase de control que realiza el envío de notificaciones a los dispositivos móviles (*GCM*). Y cuatro clases de acceso a datos (*Paciente*, *Alerta*, *Registros* y *Predicción*).

Las relaciones entre todas las clases que componen el control del sistema pueden apreciarse en la ilustración 63.

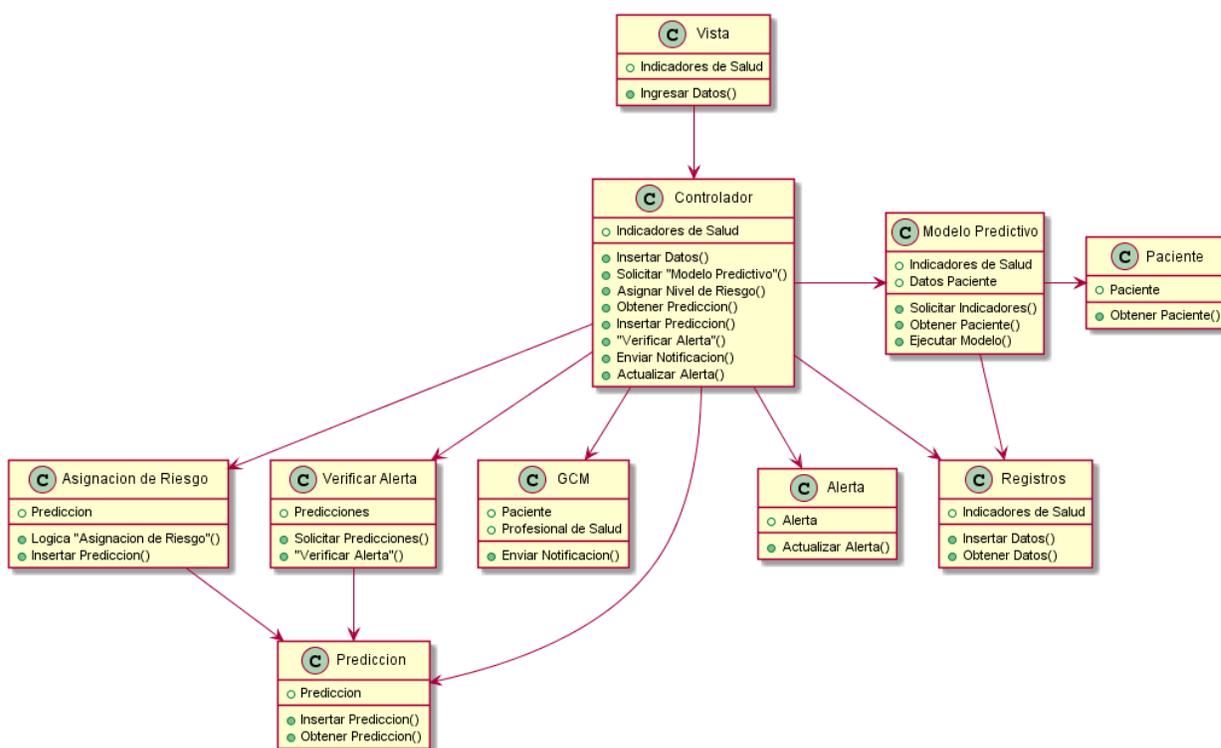


Ilustración 63: Diagrama de Clases: Control del Sistema (Elaboración propia)

A continuación serán explicadas las clases de *Control* y aquellas de acceso a datos.

- **Controlador:** Clase encargada de realizar la coordinación para ejecutar las distintas lógicas que clasifican en niveles de riesgo al paciente. Además de esto, coordina aquellas secuencias relacionadas con la verificación y notificación de alertas preventivas.

- **Modelo Predictivo:** Clase de control que ejecuta el modelo predictivo en base a distintos algoritmos.
- **Asignación de Riesgo:** Clase que recibe los resultados de la predicción, y ejecuta una lógica que asigna el nivel final de riesgo del paciente.
- **Verificar Alerta:** Recibe como parámetros los datos asociados a nivel final de riesgo del paciente, y ejecuta la lógica que analiza la existencia de una posible alerta preventiva.
- **GCM (*Google Cloud Messaging*):** De detectarse una alerta, esta clase ejecuta la lógica de envío de notificaciones a los distintos profesionales de salud involucrados.
- **Paciente:** Clase que obtiene datos asociados al paciente cuando es solicitado por la clase *Modelo Predictivo*.
- **Registros:** Inserta los nuevos indicadores de salud cuando son transmitidos, y retorna sus valores a la clase *Controlador* para la ejecución del modelo predictivo.
- **Predicción:** Clase que inserta los nuevos valores de la predicción en la base de datos con los resultados de la clasificación de riesgo del paciente.
- **Alerta:** Encargada de insertar los datos asociados a las alertas preventivas cuando estas son generadas por el sistema.

10.2.4.3. Gestión de Pacientes

En este diagrama es posible distinguir cuatro clases que son explicadas a continuación.

- **Vista:** Clase que interactúa con el usuario en la capa de vista. Esta clase recibe parámetros asociados al paciente e indicadores de salud.
- **Controlador:** Coordina los requerimientos provenientes de la capa de vista hacia las clases que acceden a los datos del paciente y aquellas que acceden a los registros asociados a los indicadores del estado de salud.
- **Paciente:** Esta clase obtiene datos asociados al paciente cuando se requiere información de este y actualiza la información asociada a sus indicadores basales de salud.
- **Registros:** Obtiene los registros transmitidos del estado de salud del paciente para un análisis temporal por parte del médico.

La interacción entre las distintas clases puede verse reflejada en la ilustración 64. Se aprecia como la clase *Controlador* gestiona los requerimientos entre la clase *Vista* y las clases de acceso a los datos.

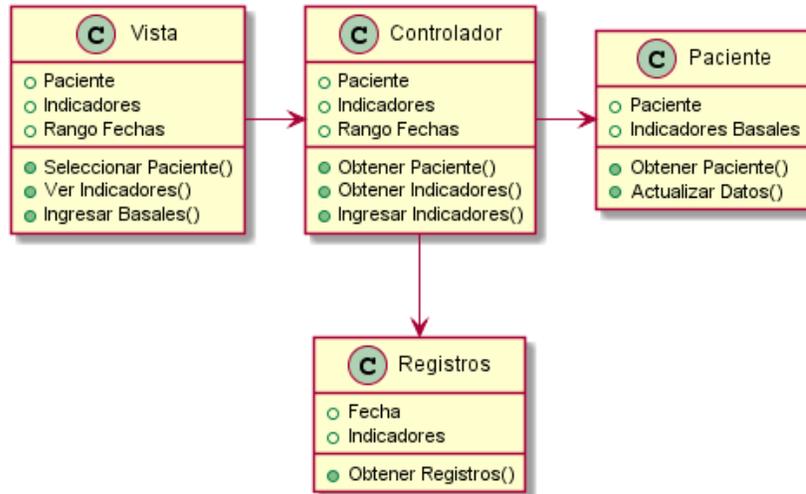


Ilustración 64: Diagrama de Clases: Gestión de Pacientes (Elaboración propia)

10.2.4.4. Gestión de Alertas

El diagrama de esta clase es bastante simple, posee clases que gestionan la funcionalidad para analizar las alertas preventivas emitidas por el sistema y actualización de las acciones asociadas a estas. Este diagrama cuenta con tres clases:

- Vista: Clase en la capa de vista que recibe los parámetros asociados a las alertas.
- Controlador: Recibe las solicitudes de la clase *Vista*, y coordina la ejecución de búsqueda de alertas previas y la actualización del estado de estas cuando se realizan acciones correctivas.
- Alerta: Obtiene información de alertas emitidas para su análisis y actualiza el estado de estas cuando el sistema emite alertas preventivas.

Las interacciones entre las tres clases que componen la gestión de alertas pueden apreciarse en la ilustración 65.

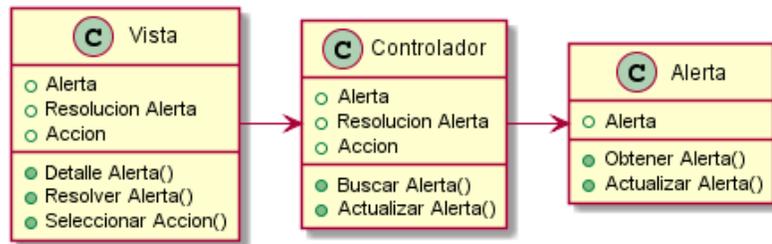


Ilustración 65: Diagrama de Clases: Gestión de Alertas (Elaboración propia)

10.2.5. Diagrama de Paquetes

El objetivo del diagrama de paquetes es mostrar como las distintas clases explicadas anteriormente están divididas en agrupaciones lógicas mostrando las dependencias entre esas agrupaciones.

Las clases anteriormente definidas es posible agruparlas en tres paquetes:

- **Datos:** Paquete que encapsula los datos centrales del proceso. Agrupa aquellas clases que suministran y actualizan datos asociados al paciente, y aquellas relacionadas con los registros transmitidos periódicamente que describen al estado de salud del paciente. Las clases contenidas en este paquete son fuertemente utilizadas por aquellas encargadas de clasificar en niveles de riesgo al paciente y aquellas clases que contienen información relacionada con las alertas preventivas. Este paquete se sub-divide en un paquete especializado de *Pacientes*, y otro asociado a los *Indicadores* de salud.
- **Clasificación de Riesgo:** Encapsula aquellas clases que ejecutan la lógica inteligente del proceso, es decir, aquellas encargadas de ejecutar el modelo predictivo y de asignar el nivel final de riesgo del paciente. Este conjunto de clases son utilizadas por aquellas relacionadas con la información de las alertas preventivas. Este paquete se sub-divide en un paquete especializado para la ejecución de la *Lógica de Asignación de Riesgo*, y otro asociado a aquellas clases que ejecutan el *Modelo Predictivo*.
- **Alertas Preventivas:** Contiene aquellas clases que almacenan la información de las alertas emitidas. Utiliza la información proveniente del paquete de clasificación de riesgo y el paquete de datos.

Las interacciones anteriormente descritas se representan gráficamente en el diagrama de paquetes presentado en la ilustración 66.

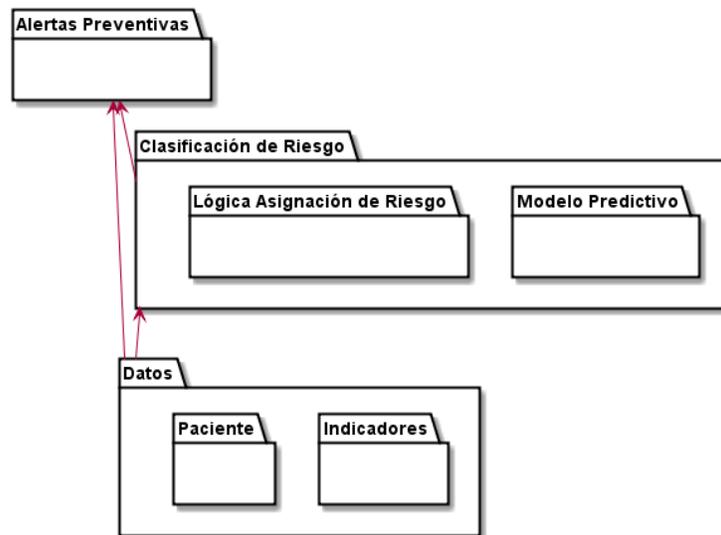


Ilustración 66: Diagrama de Paquetes (Elaboración propia)

10.2.6. Diagrama de Datos

Para describir el diagrama de datos se utilizará como base el modelo entidad relación. Este modelo puede ser representado a través de las siguientes tablas:

- **Paciente:** Tabla central del modelo de datos. Almacena información relacionada al paciente como sexo, edad, tipo de patología e información asociada a los niveles basales de sus signos vitales, entre otros datos. Esta tabla está relacionada con los indicadores del estado de salud transmitidos desde el hogar (signos vitales y aspectos visuales), las predicciones realizadas con respecto al nivel de gravedad del paciente y los profesionales médicos encargados del paciente.
- **Signos Vitales:** Almacena la información transmitida por los sensores de los domicilios de los signos vitales del paciente.
- **Predicción:** Tabla que almacena la clasificación de riesgo del paciente. Esta clasificación cambia a medida que son transmitidos nuevos indicadores de la condición de salud.
- **Alerta:** En esta tabla se almacena información asociada a alertas preventivas. Cada alerta emitida está asociada a una predicción del nivel de riesgo.
- **Personal:** Profesionales médicos encargados de cada paciente. Tabla relacionada con la tabla de turnos semanales.

- **Turno:** Información asociada a los turnos de cada profesional médico. Esta información es a nivel semanal, ya que los turnos suelen cambiar de una semana a otra.

El detalle de las interacciones de las tablas del modelo de datos explicadas anteriormente puede apreciarse en la ilustración 67.

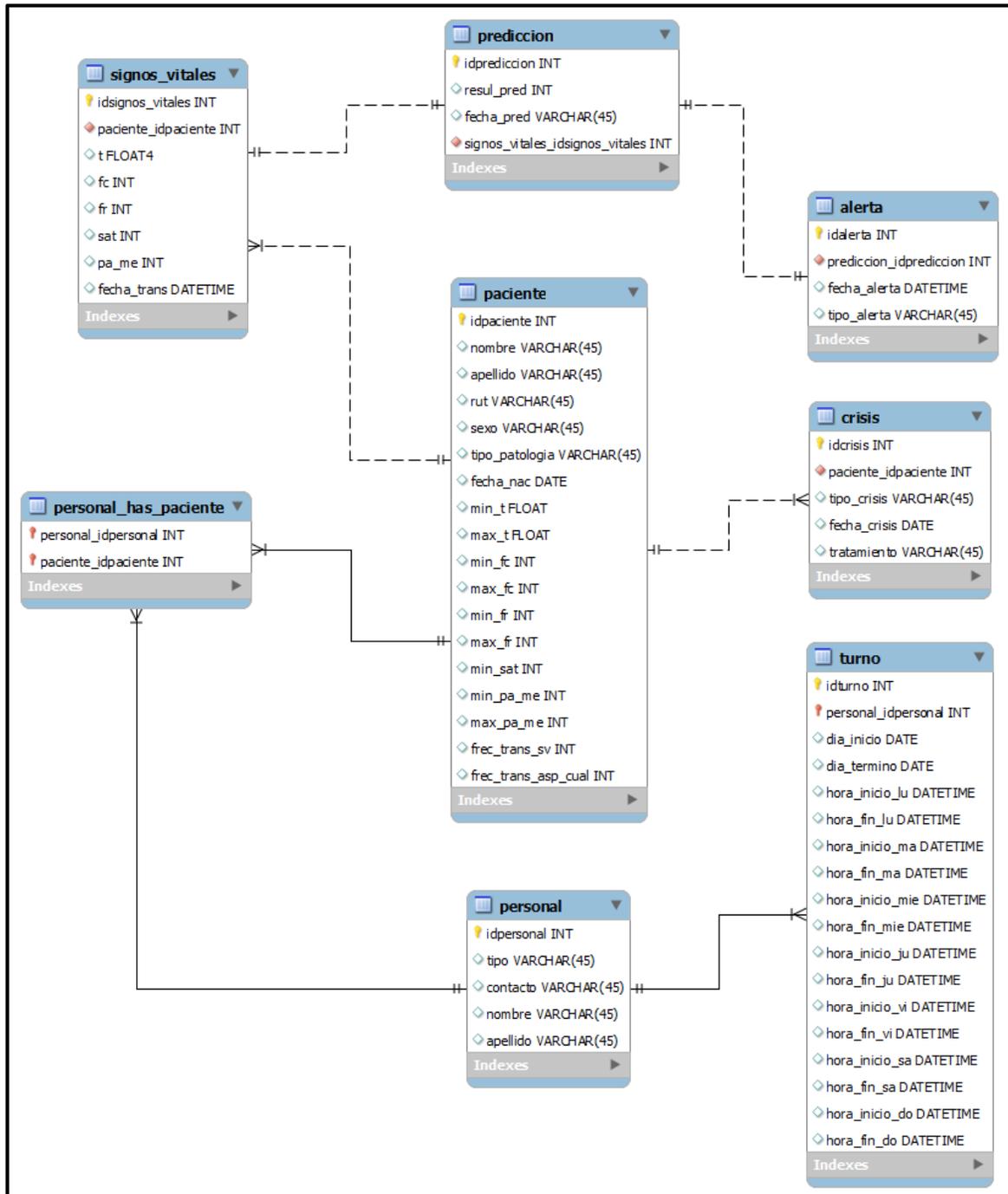


Ilustración 67: Diagrama de Datos – Modelo Entidad Relación (Elaboración propia)

11. Construcción del Prototipo

Este capítulo busca explicar las funcionalidades más relevantes del prototipo computacional elaborado. Este prototipo sólo implementará aquellas funcionalidades más importantes del proceso, esto con el objetivo de evidenciar en que apoya al juicio experto en la toma de decisiones. Como se ha explicado anteriormente, existen dos plataformas para la aplicación, una móvil y otra web.

El prototipo fue desarrollado utilizando la tecnología de Java Enterprise Edition, utilizando *servlets* en la capa de controlador, y las vistas fueron programadas con tecnología Java Server Page y HTML.

Como servidor de aplicaciones fue seleccionado Apache Tomcat y el servidor de base de datos utilizado fue MySQL.

Es importante destacar que los datos desplegados en las pantallas del prototipo son datos simulados, ya que no se cuenta con datos reales de transmisión de datos. El objetivo de esto es mostrar como los profesionales de salud podrían visualizar la data transmitida.

11.1. Aplicación Web

La aplicación web cuenta con cuatro funcionalidades principales. La primera, muestra información general asociada a los pacientes y las alertas emitidas. Para el caso del prototipo, solo se mostrará la pantalla de la información de los pacientes. La segunda, muestra información general de un paciente seleccionado por el profesional de salud. La tercera funcionalidad muestra información de los indicadores de salud del paciente. Por último, se tiene el formulario para ingresar y/o modificar datos asociados al estado normal del paciente.

11.1.1. Información General de Pacientes

En la ilustración 68 se puede ver la primera interfaz que se genera al ingresar al sistema. En esta se despliega la lista de los pacientes ordenados por zona de riesgo, es decir, en la primera parte aparecerán aquellos más riesgosos, seguidos por los más estables. Además de esto, el médico podrá ver un listado de las alertas generadas, así como también el estado de estas.

Para el caso de la lista de pacientes, la información que se muestra para cada paciente tiene relación con: la zona de riesgo en la que se encuentra, información general, diagnóstico crónico y datos asociados a la última descompensación.

En caso de que el profesional de salud requiera ver con mayor detalle la información de algún paciente, sólo debe seleccionar el botón “Ver Detalle” del paciente a analizar.

Información de Pacientes

Lista de Pacientes		Alertas Generadas		
Nivel de Riesgo	Información del Paciente	Diagnóstico	Exacerbación Previa	Ver Detalle
En Observación	<p>Matias Echeverria Rut: 17311510-5 Sexo: Masculino Edad: 20</p>	S. genetico, GTT -TQT	Fecha Crisis: 2010-11-30 Crisis: Crisis Obstructiva	Ver Detalle
Estable	<p>Roger Federer Rut: 9658929-5 Sexo: Masculino Edad: 12</p>	Duchenne	Fecha Crisis: 2011-08-08 Crisis: BroncoNeumonia	Ver Detalle
Estable	<p>Arturo Vidal Rut: 16789234-4 Sexo: Masculino Edad: 7</p>	S. Walker Maarburg , S Hipotónico central, TQT	Fecha Crisis: 2011-12-07 Crisis: BroncoNeumonia	Ver Detalle
Estable	<p>Alexis Sanchez Rut: 17683192-4 Sexo: Masculino Edad: 5</p>	Paralisis cerebral + Prematura, TQT . GTT	Fecha Crisis: 2009-10-10 Crisis: Neumonia	Ver Detalle

Ilustración 68: Aplicación Web - Lista de Pacientes (Elaboración propia)

11.1.2. Información del Paciente

Una vez que el médico selecciona el paciente, el sistema desplegará inmediatamente la información básica asociada a este, como por ejemplo, sus datos personales, sus indicadores basales para cada signo vital, el diagnóstico inicial y las crisis anteriores, entre otros elementos. En la ilustración 69 es posible ver el detalle de esta funcionalidad.

Paciente: Matias Echeverria

- Información Paciente
- Información Indicadores
- Modificar/Ingresar Indicadores

[Volver](#)

Datos del Paciente

Rut 17311510-5

Nombre Matias

Apellido Echeverria

Edad 20

Sexo Masculino

Diagnóstico

S. genetico, GTT -TQT

Rangos Normales

Indicador	Min	Max
Temperatura	35.0	37.5
Frec. Cardíaca	90	110
Frec. Respiratoria	15	25
Saturometría	93	-
FiO2	-	4.0

Exacerbaciones

Fecha	Crisis	Nivel de Gravedad
2010-11-30	Crisis Obstructiva	Medio
2007-07-12	Neumonía	Bajo

Ilustración 69: Aplicación Web - Información del Paciente (Elaboración propia)

11.1.3. Información Indicadores de Salud

Uno de los requerimientos más importantes de la aplicación es que esta permita identificar la evolución en el tiempo de los distintos indicadores de salud del paciente. En la ilustración 70 se tiene la interfaz de información de los indicadores del paciente. Los gráficos que se aprecian muestran los datos transmitidos en el último período de tiempo. Para este caso se realiza una simulación de datos, y se utiliza una frecuencia promedio de transmisión de 12 registros diarios, por lo tanto, lo que se aprecia en los gráficos es la data transmitida para las últimas 12 horas. Lo importante de esto es que en cada gráfico el médico cuenta con toda la información necesaria para detectar si existen irregularidades, o bien si es que es necesario tomar alguna acción correctiva.

Otro punto importante a señalar es que los gráficos muestran con líneas rojas los límites de normalidad para cada indicador, de esta manera puede apreciarse de forma mucho más directa si es que los indicadores presentan alguna tendencia hacia una desviación anormal.

Paciente: Matias Echeverria

- Información Paciente
- Información Indicadores
- Modificar/Ingresar Indicadores

Volver

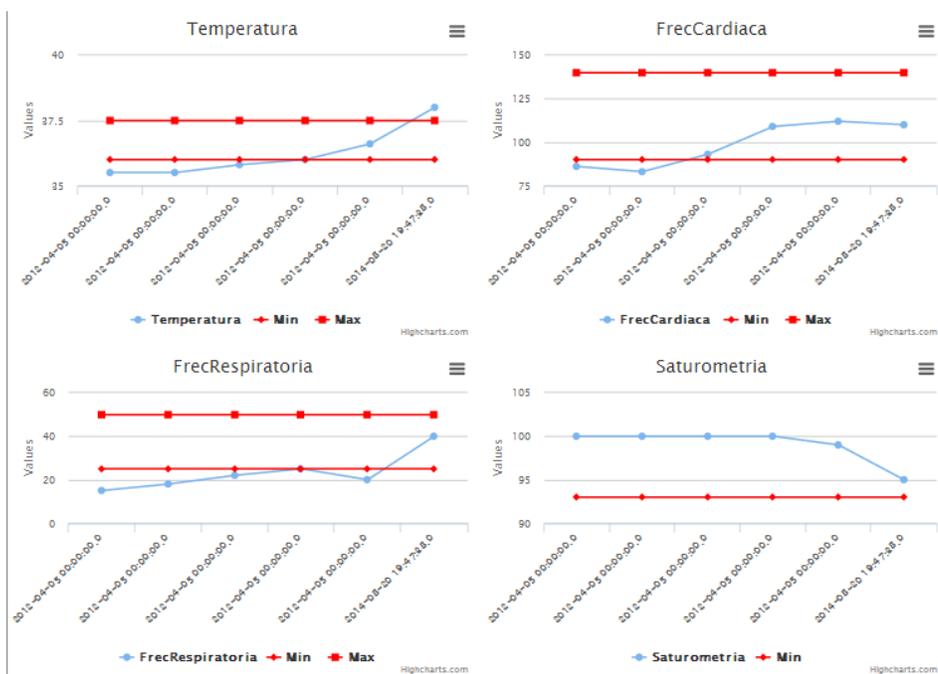


Ilustración 70: Aplicación Web - Información Indicadores (Elaboración propia)

Además de lo anterior, es importante permitirle al médico realizar un análisis más profundo en algún indicador, si es que estima que es conveniente. Para esto es posible ver la evolución de cualquier indicador en los rangos de fecha que el médico lo solicite. A continuación se explica con mayor detalle esta funcionalidad

11.1.3.1. Información Indicadores de Salud: Análisis Temporal

El médico puede solicitar un análisis temporal para los indicadores que desee, ya que puede ocurrir en ocasiones que se necesite de mayor información para ejercer una acción concreta.

En este caso se realizó el ejercicio seleccionando la temperatura y frecuencia cardíaca como indicadores a analizar, seleccionando un rango de fechas que muestra registros de aproximadamente 48 horas transmitidas.

En la ilustración 71 se aprecia cómo se muestran los registros asociados a la temperatura y frecuencia cardíaca. La forma de mostrarlos es prácticamente la misma que para los gráficos explicados anteriormente, se muestra la transmisión de cada indicador con línea azul, y sus límites de normalidad en color rojo.

Analizar Indicadores

Fecha Inicio: Fecha Fin:

Temperatura

Frec. Cardíaca

Frec. Respiratoria

Saturometría

FlO2



Ilustración 71: Aplicación Web - Información Indicadores: Análisis Temporal (Elaboración propia)

11.1.4. Modificar/Ingresar Indicadores

Es importante tener registrado en la base de datos cuales son los rangos de normalidad para cada indicador del paciente, esto permite visualizar los rangos permitidos para cada indicador, además apoya en la visualización de los gráficos anteriormente presentados.

Para lo anterior, el médico puede realizar una modificación de estos indicadores, en caso de que ya hayan sido ingresados, o realizar el ingreso de estos. En la ilustración 72 podemos ver la interfaz para ingresar o modificar estos indicadores.

Paciente: Matias Echeverria

- Información Paciente
- Información Indicadores
- Modificar/Ingresar Indicadores

Volver

Estados Normales

Temp. Min	<input type="text"/>	Temp. Max	<input type="text"/>
Frec. Cardíaca Min	<input type="text"/>	Frec. Cardíaca Max	<input type="text"/>
Frec. Respiratoria Min	<input type="text"/>	Frec. Respiratoria Max	<input type="text"/>
Saturometría Min	<input type="text"/>	FiO2 Max	<input type="text"/>

Ingresar

Ilustración 72: Aplicación Web - Modificar/Ingresar Indicadores (Elaboración propia)

11.2. Aplicación Móvil

Como se ha explicado anteriormente, es necesario contar con una aplicación en donde el médico pueda ver en tiempo real la información que se está transmitiendo, pero también debemos considerar que los médicos en general siempre están muy ocupados y con muy poco tiempo disponible, por lo que se ha optado por diseñar una aplicación móvil en donde sea posible ver la información necesaria de manera simple y en donde sea que este el profesional de salud. En conjunto con lo anterior, el objetivo de esta aplicación es que sea posible tomar acciones preventivas de una manera mucho más efectiva y veloz.

Esta aplicación presenta dos módulos principales, uno para gestionar las alertas emitidas por el sistema, y otro para gestionar los pacientes y sus indicadores asociados. La aplicación además debe mostrar ciertos reportes estándares que permitan visualizar los datos agregados de mejor manera, pero este módulo no será abordado en este prototipo.

11.2.1. Gestión de Alertas

Una vez iniciada la aplicación, se muestra la interfaz para gestionar las alertas. En este se tiene la opción de analizar todos los tipos de alertas, por ejemplo, filtrar por riesgo y estado. Además de lo anterior, la aplicación despliega en un listado las últimas alertas emitidas por el sistema. En este caso la interfaz hace una distinción entre aquellas alertas en *Stand By*, y aquellas alertas resueltas. Para el caso de las alertas en estado *Stand By*, serán ordenadas por nivel de riesgo, y se mostrará sólo la alerta con mayor riesgo para cada paciente, en el caso de existir más de una en estado *Stand By*. Las alertas resueltas serán desplegadas por fecha de emisión, y serán mostradas todas las alertas, por lo que podría visualizarse más de una alerta resuelta por paciente.

En la ilustración 73 se puede apreciar la interfaz asociada a este módulo. En este caso se simuló la existencia de dos alertas, una en estado *Stand By* y otra *Descartada*. Se aprecia que cada una de estas muestra información relevante, como el nombre del paciente asociado a la alerta emitida, el estado actual de la alerta y su fecha de emisión.



Ilustración 73: Aplicación Móvil - Gestión de Alertas (Elaboración propia)

En el caso que se requiera analizar con mayor detalle la alerta emitida, el profesional de salud sólo debe seleccionar la alerta, y se desplegará la información de esta, como se muestra en las ilustraciones 74 y 75.

En primer lugar, se despliega información asociada a la alerta, como el estado de esta, la fecha en que fue emitida, el riesgo asociado y la causa por la cual fue detectado el riesgo. Este último punto muestra información clave que permite a los profesionales de salud disminuir el tiempo para analizar la alerta, ya que el sistema automáticamente muestra las razones por la cual está enviando la alerta.

También se muestra información esencial del paciente, en donde el médico también podrá analizar con mayor profundidad al paciente en caso de requerirlo, funcionalidad que será explicada posteriormente. En conjunto con lo anterior, se despliega información clave asociada al comportamiento del paciente, que son los últimos registros detectados por el sistema, para que de esta forma el médico, o bien el

profesional encargado de recibir la alerta, cuente con información clave para tomar una acción correctiva. Se aprecia cómo los últimos registros son mostrados en colores verde y rojo, verde quiere decir que los indicadores están dentro del rango referencial. Esto permite visualizar de manera mucho más clara la existencia de una posible descompensación. Por ejemplo, en la ilustración 75 se aprecia que el registro asociado a la alerta corresponde al segundo enviado (letras en negrita), y se aprecia que la temperatura y la saturación de oxígeno presentan una desviación por sobre lo normal.

Detalle Alerta

Alertas Pacientes

Fecha : 2015-01-04 12:46
 Riesgo : Moderado
 Estado : Stand By
 Causa : Desaturacion Fiebre

Paciente

AlexAedo
 Edad: 1 año y 2 meses
 Diagnostico: SIN DIAGNOSTICO

Ilustración 74: Aplicación Web - Detalle Alerta 1.0 (Elaboración propia)

Últimos Registros

Fecha	T	FC	FR	SAT
2015-01-04 12:47	37.0	120	31	99
2015-01-04 12:46	38.0	130	28	92
2015-01-04 12:46	38.0	110	30	98
2015-01-02 12:43	37.0	96	31	92
2015-01-02 12:43	37.0	120	27	96
2015-01-02 12:43	38.0	100	30	98

¿Tomar Acción?

SI NO

Ilustración 75: Aplicación Web - Detalle Alerta 2.0 (Elaboración propia)

Además de lo anterior, en esta vista se requerirá que el profesional realice una confirmación de la alerta, ya sea confirmando que efectivamente es necesario tomar

una acción correctiva, o bien si es que no es necesario realizar acción alguna, y la alerta debe descartarse. En primer lugar, el médico debe seleccionar “SI” o “NO” en relación a la acción correctiva, en el caso de seleccionar “SI”, el sistema desplegará las acciones disponibles, como se aprecia en la ilustración 76. Dentro de estas acciones, se encuentran llamados que puede realizar el actor que recibe la alerta y se muestra un campo libre en donde se debe describir con mayor detalle la acción realizada.. En este ejemplo, se dispone de tres acciones correctivas, llamada al cuidador, llamada al SAMU y llamada a la enfermera encargada.

Últimos Registros

Fecha	T	FC	FR	SAT
2015-01-04 12:47	37.0	120	31	99
2015-01-04 12:46	38.0	130	28	92
2015-01-04 12:46	38.0	110	30	98
2015-01-02 12:43	37.0	96	31	92
2015-01-02 12:43	37.0	120	27	96
2015-01-02 12:43	38.0	100	30	98

¿Tomar Acción?

Llamado: **Cuidador**, **SAMU**, **Enfermera**

Acción Realizada:

Confirmar Acción

Ilustración 76: Aplicación Móvil - Confirmación Alerta (Elaboración propia)

11.2.2. Gestión de Pacientes

Otra función importante de la aplicación móvil es la gestión de los pacientes. En la ilustración 77, se puede apreciar primera interfaz de este módulo. Es posible apreciar que se despliega un listado de los pacientes, con sus clasificaciones de riesgo asociadas. Esta clasificación de riesgo corresponde al máximo riesgo emitido durante las últimas 24 horas.

En la ilustración 78, es posible ver la vista del detalle del paciente. En primer lugar, se despliega información básica asociada a este, como por ejemplo su RUT, edad, sexo, entre otros atributos. Luego se puede ver los rangos de referencia de sus indicadores de salud.



Ilustración 77: Aplicación Móvil - Gestión de Pacientes (Elaboración propia)



Ilustración 78: Aplicación Móvil - Detalle Paciente (Elaboración propia)

Además de las funciones anteriores, es crucial que sea posible ver con mayor detalle algún indicador, si es que el profesional que recibe la alerta presenta alguna duda, y requiere hacer un análisis con mayor profundidad. Para lograr esto, el médico tendrá la posibilidad de hacerlo seleccionando el indicador que desee, y estableciendo el número de días previos a analizar, es decir, si selecciona 3 días previos, se analizarán los indicadores seleccionados que fueron transmitidos en los últimos tres días, considerando el primer día cómo el día anterior al actual. En la ilustración 79, es

posible ver un ejemplo de lo anterior, en este caso podemos ver como se analiza la temperatura y frecuencia respiratoria transmitida en las últimas 24 horas.

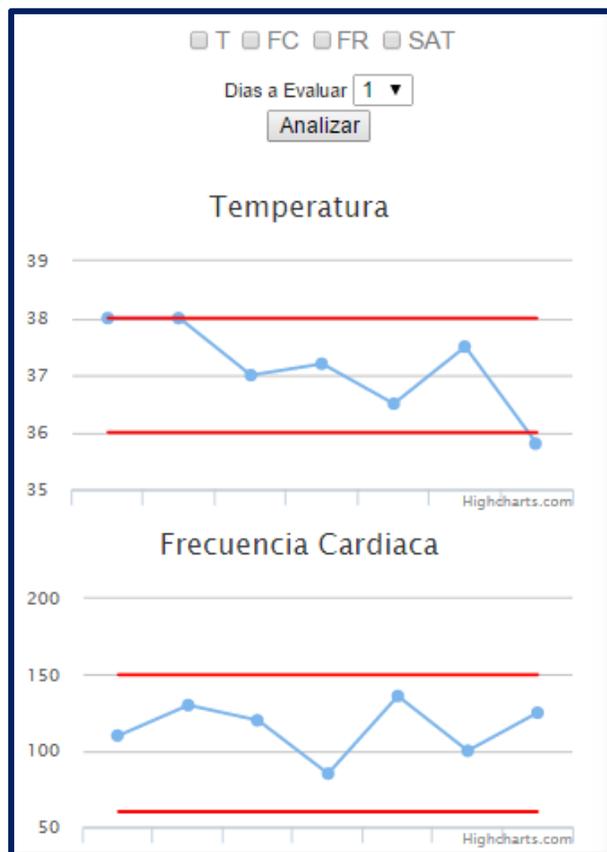


Ilustración 79: Aplicación Móvil - Análisis Temporal (Elaboración propia)

12. Gestión del Cambio

12.1. Contexto Organizacional

El alcance del proyecto de tesis no involucró una implementación completa ni el inicio de un plan piloto, pero a pesar de eso, si definió los lineamientos a seguir en términos de protocolos preventivos, y sistemas informáticos a utilizar.

Como fue mencionado anteriormente, el Hospital Exequiel González Cortés ya cuenta con pacientes hospitalizados en sus domicilios a través de los programas AVI y AVI del Ministerio de Salud. Por lo tanto, el proyecto de monitoreo a distancia a considerar en este trabajo no considera un cambio drástico en los protocolos preventivos, sino que ha sido pensado como un apoyo a lo que actualmente existe, en donde el principal desafío está en la utilización correcta de las nuevas aplicaciones computacionales por parte de todos los profesionales involucrados.

El impacto que tiene este proyecto presenta un enorme desafío en la gestión del cambio, esto principalmente por que la perspectiva de resultados de los médicos, en ocasiones, no suele ser la misma desde el punto de vista de la ingeniería. A continuación se explicarán los factores críticos de éxito del proyecto para una correcta implementación, y los aspectos claves a considerar en la estrategia de gestión el cambio.

12.2. Factores Críticos de Éxito

Si bien existe una cantidad considerable de factores que podrían considerarse críticos para el éxito del proyecto, debido al impacto que este posee, es posible mencionar los siguientes como aquellos factores claves:

1. Lograr el apoyo de la dirección del hospital, comprometiéndolos con la asignación recursos para el desarrollo del proyecto.
2. Seducir a directora de programas AVI y AVNI, quien es la encargada de estos programas de atención domiciliaria a nivel nacional. Su apoyo es fundamental para poder involucrar a otros médicos broncopulmonares y otros profesionales como enfermeras y técnicos paramédicos.
3. Formar una coalición conductora capaz de implementar y anclar a la organización los cambios necesarios, que sea respetada dentro del hospital y capaz de comunicar de manera efectiva la visión del proyecto.

12.3. Estrategia para la Gestión del Cambio

12.3.1. Sentido de Urgencia

Cómo fue mencionado anteriormente en la justificación del problema, las patologías crónicas generan un alto costo e impacto para el sistema de salud. El deterioro en la condición de salud del paciente es un factor clave que justifica la realización del proyecto.

Además de lo anterior, una hospitalización con carácter grave genera altísimos costos para el sistema público de salud, estimando que el costo promedio día cama de UPC está alrededor de \$400.000¹⁷. El costo anterior puede elevarse aún más si consideramos que en períodos de invierno la capacidad de la mayoría de los hospitales colapsa, teniendo que recurrir al sistema privado para hospitalizar a los pacientes graves, en donde se estima que el costo total por hospitalizar a un paciente grave por falta de capacidad es de aproximadamente \$ 60.000.000¹⁸.

Lo anterior indica la necesidad por mejorar la atención entregada a este grupo de pacientes, por un lado, para mejorar notablemente sus condiciones de salud, y por otro, para disminuir de manera radical los costos generados en el sistema público de salud.

12.3.2. Coalición Conductora

La definición de la coalición conductora es un aspecto crítico para el éxito del proyecto, se debe contar con un líder capaz de transmitir todos los cambios necesarios, y de mantener comprometidos a todos los integrantes del proyecto. El líder del proyecto surge de manera natural y es la directora de los programas AVI y AVNI, Dra. Rebeca Paiva.

Adicionalmente, se debe contar con alguien que este constantemente monitoreando los cambios efectuados, y capaz de actuar ante problemas que surjan en el transcurso de la implementación del proyecto. En este punto será la gestora de camas la encargada de velar por esto.

Para que todo lo anterior sea posible, existirá un gestor de proyecto encargado de diseñar todos los procesos de apoyo, de brindar apoyo técnico constante y apoyar siempre a las personas descritas anteriormente.

¹⁷ Fuente: Costo Promedio UPC HEGC.

¹⁸ Fuente: Estimación de profesionales del Hospital con más de 20 años de experiencia.

12.3.3. Gestión de Narrativas

La gestión de narrativas genera una descripción del rol de cada persona en el proyecto. Una correcta generación de esto puede hacer la diferencia entre lograr implementar exitosamente un proyecto o no. Estas dependen del perfil y cargo de la persona que escucha. Para lo anterior se generaron las siguientes narrativas para actores con una mayor involucración en el proyecto, que son descritas en la tabla

Actor	Narrativa
Directora del Hospital	El proyecto apoyará al hospital en una mejor estructuración de los protocolos preventivos de los programas de hospitalización domiciliaria, generando una mejora en la calidad de los pacientes y disminuyendo los costos asociados a hospitalizaciones no programadas.
Directora Programas AVI y AVNI	Mejorar la calidad del control de salud preventivo en pacientes hospitalizados en sus domicilios mediante herramientas de apoyo de predicción de crisis, sin realizar mayores cambios en lo que se tiene actualmente.
Gestora de Camas	Es necesario realizar ciertas modificaciones en los protocolos preventivos de crisis, los cuales serán apoyados por los resultados del modelo predictivo. El correcto funcionamiento será monitoreado de manera constante, entregando retro-alimentación a los principales actores involucrados.

Tabla 16: Narrativas Principales Actores Involucrados
Fuente: Elaboración propia en conjunto en equipo de hospital

12.3.4. Cambio y Conservación

En todo proyecto de cambio es crucial identificar aquellos aspectos que serán conservados y transmitirlos a todas aquellas personas involucradas en el cambio. Esto disminuye la ansiedad y mantiene a las personas más comprometidas.

Dentro de los aspectos que se quiere mantener a toda costa, se destaca la excelencia de atención en todo sentido del hospital. Este ha sido calificado con uno de los índices más altos de atención a nivel nacional, esto principalmente por la rigurosidad en los procesos, y la cercanía que se tiene en todo momento con el paciente y sus familiares.

Por lo tanto, el proyecto en ninguna instancia buscará cambiar la cercanía y el nivel de profesionalismo que se tiene hacia el paciente, esto podría afectar no sólo el ámbito que involucra el proyecto, sino que también otras especialidades del hospital.

Otro punto clave tiene que ver con los protocolos de atención ya establecidos a nivel nacional en los programas AVI y AVNI. Es importante mencionar que desde una mirada general no se buscará cambiar las principales directrices de estos protocolos, sino que sólo se agregarán actividades y modificarán otras con el objetivo de apoyar y mejorar estos protocolos preventivos, sin cambiar su estructura y propósito por el cual fueron diseñados.

12.3.5. Evaluación y Cierre del Proceso de Cambio

Como se explicó anteriormente, el proyecto de tesis no generó un plan piloto ni una implementación del proyecto, es importante definir aquellos aspectos claves para que el proyecto en su ejecución, cuente con un adecuado cierre del proceso y una constante evaluación del mismo para comprobar su éxito.

A continuación se establecerán los principales puntos a evaluar para demostrar que el proyecto en su ejecución ha logrado el éxito.

1. Exista una conciencia organizacional de la importancia de los protocolos preventivos de crisis en pacientes hospitalizados en sus domicilios. Esto significa que las personas están actuando pro-activamente ante emisiones de alertas preventivas por parte del sistema.
2. Médicos encargados cumplan el rol establecido cuando sean asignados como encargados del protocolo preventivo, es decir, que resuelvan las alertas en tiempos adecuados, y que efectivamente actúen para generar acciones correctivas ante complicaciones de salud.
3. Cuidadores de los pacientes actúan pro-activamente ante errores en los sistemas de transmisión, comunicando esto a los profesionales encargados.
4. Exista una reducción en las hospitalizaciones no programadas debido a crisis respiratorias en el grupo de pacientes hospitalizados en el domicilio, y que efectivamente esto conlleve a una mejora en su condición de salud, la cual será validada en las encuestas que se realizan todos los años en el hospital para medir esto.

13. Resultados

El presente capítulo muestra por un lado los resultados del modelo predictivo diseñado, demostrando que este presenta una buena precisión, discriminando de buena manera entre distintos niveles de riesgo, y por otro lado, exponer los resultados de la validación de los distintos apoyos computacionales.

13.1. Metodología

13.1.1. Modelo Predictivo

Como fue explicado en el capítulo 9.1., el modelo diseñado busca predecir riesgo en pacientes crónicos, en donde el aspecto asociado a su condición crónica respiratoria es capturado a través de la variable *CR (Crónico Respiratorio)*. En la actualidad, en el hospital los datos de pacientes crónicos con los que se cuenta provienen principalmente de hospitalizaciones de alta gravedad, en donde los pacientes son sometidos a una fuerte medicación, apoyo ventilatorio constante y muchas veces con apoyo de oxigenación. Los factores anteriores gatillan una clara distorsión en los signos vitales, por lo tanto, es que se optó por utilizar principalmente datos de *triage* para validar los resultados del modelo predictivo. Si bien en estos registros se cuenta en su mayoría con pacientes no crónicos, el modelo diseñado en este trabajo captura rangos de normalidad asumiendo que el paciente se encuentra en un estado estable, a pesar de su enfermedad crónica, por lo tanto, es que se considera totalmente válido utilizar esta fuente de datos para validar la precisión del modelo.

En la base de datos del *triage* no se cuenta con información precisa del diagnóstico del paciente, y como la mayoría de ellos no poseen una enfermedad crónica respiratoria, es que la variable *CR* se consideró con un valor 0 para todos los registros evaluados, es decir, se asumió que ningún paciente poseía una enfermedad crónica respiratoria.

Los datos del *triage* muestran una medición de los signos vitales cuando el paciente es ingresado a urgencias por alguna descompensación, en donde el paciente dependiendo de su gravedad, es clasificado en 5 estados:

- C1: Paciente con riesgo vital.
- C2: Paciente en estado grave, pero sin riesgo vital.
- C3: Paciente no tan grave, pero que necesita atención inmediata.
- C4: Paciente que puede esperar por la atención.

- C5: Paciente que puede esperar, no tiene fiebre y es mayor de edad.

Los estados anteriores muestran distintos niveles de riesgo, siendo el estado C1 el más grave, y el C5 el de menor gravedad. Además de estos datos, se utilizaron registros de hospitalizaciones causadas por enfermedades respiratorias, en donde se obtuvieron aquellos registros correspondientes a las últimas 48 horas previo al alta médica. El objetivo de estos datos es mostrar el comportamiento del modelo en registros que muestran una aproximación a un estado estable.

Los resultados del modelo aplicados a los distintos estados anteriores mostrarán si este efectivamente discrimina entre distintos niveles de gravedad. Pero en conjunto con esto, se hace necesario contrastar estos resultados con otros modelos predictivos más convencionales. Se entrenó un modelo *logit* y un árbol de decisión con los distintos estados obtenidos anteriormente, comparando los resultados de ambos modelos. Para efectos de notación, el modelo de inteligencia artificial propuesto en este trabajo será denominado *Modelo IA*.

13.1.2. Apoyo Computacional

La aplicación computacional fue validada mediante un estudio de usabilidad por parte de profesionales del área de la salud del Hospital. El procedimiento para realizar este estudio fue el siguiente:

- Para introducir a los usuarios dentro del contexto del proyecto, se les realizó una presentación mostrando los principales objetivos y resultados obtenidos, explicando de manera general el rol de la aplicación móvil dentro del protocolo preventivo.
- Se analizaron tres casos de pacientes con las siguientes edades: 2 meses; 1 año y 2 meses y 8 años. El objetivo de lo anterior es mostrar que el modelo predictivo está integrado correctamente con la aplicación ante distintos rangos referenciales, por lo que fue necesario simular distintas patologías, y los pacientes fueron considerados sin ningún diagnóstico previo.
- Se realizó una simulación del funcionamiento de la aplicación móvil utilizando un formulario web en donde se ingresaron los signos vitales mediante un dispositivo Tablet, y las vistas de la aplicación móvil fueron desplegadas mediante un emulador en un browser.
- Los usuarios encuestados no usaron directamente la aplicación móvil, estos apreciaban su funcionamiento desde el emulador, pero contaban con la posibilidad de solicitar mayor detalle en cualquier aspecto del funcionamiento de esta.

- Con el objetivo de realizar una simulación de la aplicación más cercana hacia los encuestados, es que se realizaron tres sesiones de simulación con aproximadamente 5 personas en cada sesión.
- Finalmente, la simulación de la aplicación móvil fue validada mediante una encuesta utilizando una escala de 5 niveles de *Likert*.

13.2. Resultados Modelo Predictivo

A continuación se analizarán los resultados del modelo predictivo diseñado en este trabajo (*Modelo IA*). Los datos correspondientes a registros de hospitalizaciones previo al alta médica fueron denominados como “*Previo Alta*”. En la tabla 17 se aprecia la distribución por categoría y grupo etario de los datos utilizados para las pruebas. Se puede ver que la muestra se concentra en pacientes entre 6 meses y 10 años, y en categorías C3, Previo Alta y C4.

Cabe mencionar en este punto que la muestra no considero datos de C1, esto debido a que luego de la limpieza de datos quedaron solo 3 registros, por lo que estos fueron eliminados. En la base total de validación se cuenta con un total de 1.358 registros de *triage* (estados C2 a C5), y 675 registros asociados a hospitalizaciones “previo al alta” médica.

Categoría\Grupo Etario	0-6 meses	6 meses-2 años	2-10 años	> 10 años	Total Categoría
C2	22 (1,1%)	74 (3,6%)	21 (1,0%)	8 (0,4%)	125 (6,1%)
C3	96 (4,7%)	159 (7,8%)	207 (10,2%)	26 (1,3%)	488 (24,0%)
Previo Alta	167 (8,2%)	303 (14,9%)	155 (7,6%)	50 (2,5%)	675 (33,2%)
C4	75 (3,7%)	132 (6,5%)	276 (13,6%)	52 (2,6%)	535 (26,3%)
C5	0 (0,0%)	0 (0,0%)	89 (4,4%)	121 (6,0%)	210 (10,3%)
Total Grupo Etario	359 (17,7%)	668 (32,9%)	746 (36,7%)	257 (12,6%)	2033 (100,0%)

Tabla 17: Distribución Datos Utilizados (Elaboración Propia)

En el gráfico 6 se pueden ver los resultados entregados por el *Modelo IA* en los distintos estados. Se aprecia como en estados claramente más graves, C2 y C3, el modelo entrega en un alto porcentaje registros asociados a una gravedad moderada o alta. En particular, para el grupo C2, más de la mitad de los registros corresponden a un riesgo alto por el modelo propuesto en este trabajo, lo que indicaría una alta precisión para estimar una posible descompensación. En estados de menor gravedad, como C5, C4 y “Previo Alta”, se ve como los registros asociados a sin riesgo, y riesgo bajo, muestran una predominancia. Por lo tanto, se puede ver que el modelo discrimina de manera aceptable entre registros de mayor gravedad, y aquellos cercanos a una estabilidad.

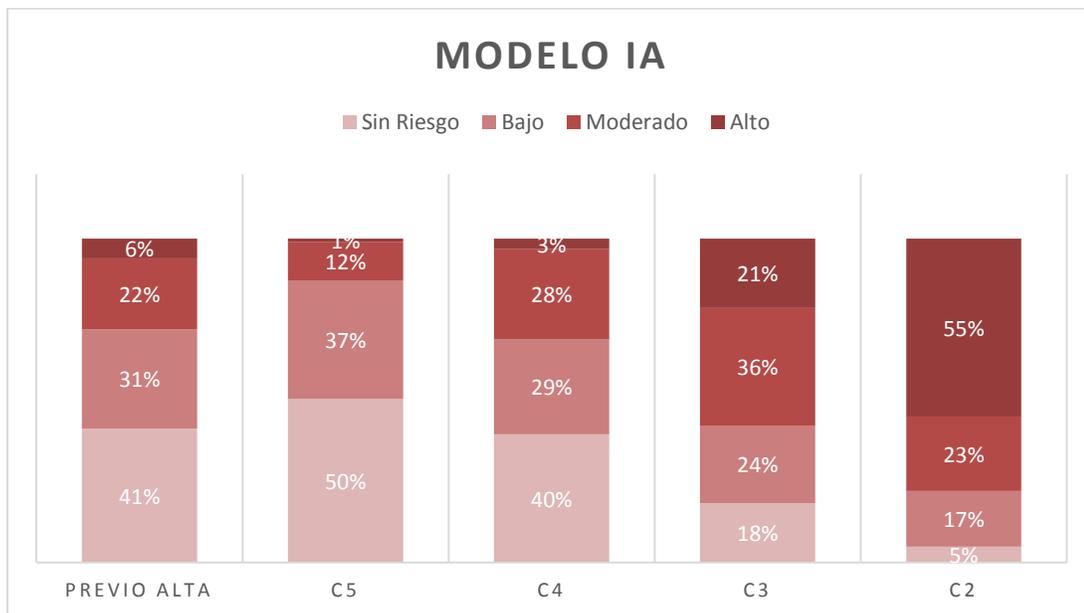


Gráfico 6: Resultados por Nivel de Riesgo Modelo IA (Elaboración propia)

También es importante comparar este modelo versus otros más convencionales. Como se mencionó anteriormente, un modelo *Logit* y un *Árbol de Decisión* fueron entrenados con los mismos registros utilizados.

Es importante mencionar en esta línea que **el modelo diseñado en este trabajo no tiene como objetivo primario clasificar distintos estados de *triage*, sino que busca principalmente generar un apoyo capaz de diagnosticar un posible riesgo para la salud en pacientes con enfermedades crónicas.** Por lo tanto, los modelos convencionales utilizados a continuación presentan una mayor probabilidad de presentar mejores resultados, ya que son entrenados para clasificar los distintos niveles de *triage*, y no necesariamente significa que generan patrones generalizables para detectar posibles crisis en pacientes con patologías respiratorias.

Para contar con una medida de validación similar para todos los modelos, es que los datos utilizados fueron separados en dos muestras, una conteniendo el 70% de los datos, en donde los modelos convencionales son entrenados hasta lograr buenos indicadores de precisión, y una muestra restante con el 30% de los registros, en donde todos los modelos son validados, llamaremos a esta base *Muestra de Validación*. Es importante mencionar en este punto que la muestra de validación no es conocida por los modelos entrenados, es decir, son validados sobre datos totalmente nuevos.

A continuación se comparan los resultados de los modelos sobre las métricas de *precisión* y *sensibilidad*. La primera métrica mide la precisión del modelo sobre los registros de predicción, y la segunda mide la cantidad de registros capturados sobre la variable de interés (registros con riesgo alto).

La metodología diseñada para entrenar los modelos y validar los resultados versus el modelo IA propuesto se compone de dos etapas:

- Generar dos niveles de riesgo, uno considerado como “grave” y otro como “estable”. Para este caso los registros clasificados como C2 corresponden a registros “graves”, y el resto de los registros son considerados como un estado “estable”.
- El principal objetivo del modelo propuesto es que puede discriminar efectivamente entre distintos niveles de riesgo, no solo uno grave y otro estable, por lo que para este caso se considerarán tres estados: Aquellos registros con riesgo “alto”, correspondiente a aquellos clasificados como C2, registros de un riesgo “moderado”, correspondientes a registros clasificados como C3, y el resto de los registros son considerados como riesgo “bajo”.

13.2.1. Resultados Considerando Dos Niveles de Riesgo

En las Tablas 18, 19 y 20 se aprecian los resultados de los modelos IA, Logit y Árbol de Decisión respectivamente. Cabe recordar en este punto que los resultados son obtenidos sobre la *Muestra de Validación* (30% de los registros).

IA		Predicción		
		Grave	Estable	Promedio
Observado	Grave	101	82	
	Estable	89	339	
Resultados	<i>Precisión</i>	53,2%	80,5%	66,9%
	<i>Specificity</i>	79,2%	55,2%	67,2%
	<i>Sensitivity</i>	55,2%	79,2%	67,2%
	<i>Accuracy</i>	72,0%	72,0%	72,0%
	<i>F-Measure</i>	54,2%	79,8%	67,0%

Tabla 18: Resultados Modelo IA para 2 Niveles de Riesgo (Elaboración propia)

Logit		Predicción		
		Grave	Estable	Promedio
Observado	Grave	93	90	
	Estable	28	399	
Resultados	<i>Precisión</i>	76,9%	81,6%	79,2%
	<i>Specificity</i>	93,5%	50,8%	72,1%
	<i>Sensitivity</i>	50,8%	93,5%	72,1%
	<i>Accuracy</i>	80,7%	80,7%	80,7%
	<i>F-Measure</i>	61,2%	87,1%	74,2%

Tabla 19: Resultados Modelo Logit para 2 Niveles de Riesgo (Elaboración propia)

Árbol de Decisión		Predicción		
		Grave	Estable	Promedio
Observado	Grave	45	138	
	Estable	21	406	
Resultados	Precisión	68,2%	74,6%	71,4%
	Specificity	95,1%	24,6%	59,8%
	Sensitivity	24,6%	95,1%	59,8%
	Accuracy	73,9%	73,9%	73,9%
	F-Measure	36,1%	83,6%	59,9%

Tabla 20: Resultados Modelo *Árbol de Decisión* para 2 Niveles de Riesgo (Elaboración propia)

A partir de los resultados anteriores, se aprecia que el modelo propuesto en este trabajo muestra buenos resultados con una precisión para el estado grave de 53,2% y una sensibilidad de un 55,2%.

En este tipo de problemas en donde el estado grave toma especial relevancia, es que los resultados de sensibilidad son muy importantes, por lo tanto, se aprecia que el modelo propuesto (IA) muestra resultados balanceados considerando sensibilidad y precisión.

Modelo IA		Predicción - Grave	Predicción - Estable	Promedio
0-6 meses	Observado - Grave	12	23	
	Observado - Estable	17	56	
	Precisión	41,4%	70,9%	56,1%
	Specificity	76,7%	34,3%	55,5%
	Sensitivity	34,3%	76,7%	55,5%
	Accuracy	63,0%	63,0%	63,0%
	F-Measure	37,5%	73,7%	55,6%
6 meses-2 años	Observado - Grave	49	21	
	Observado - Estable	31	100	
	Precisión	61,3%	82,6%	71,9%
	Specificity	76,3%	70,0%	73,2%
	Sensitivity	70,0%	76,3%	73,2%
	Accuracy	74,1%	74,1%	74,1%
	F-Measure	65,3%	79,4%	72,3%
2-10 años	Observado - Grave	36	32	
	Observado - Estable	20	137	
	Precisión	64,3%	81,1%	72,7%
	Specificity	87,3%	52,9%	70,1%
	Sensitivity	52,9%	87,3%	70,1%
	Accuracy	76,9%	76,9%	76,9%
	F-Measure	58,1%	84,0%	71,1%
> 10 años	Observado - Grave	4	6	
	Observado - Estable	21	46	
	Precisión	16,0%	88,5%	52,2%
	Specificity	68,7%	40,0%	54,3%
	Sensitivity	40,0%	68,7%	54,3%
	Accuracy	64,9%	64,9%	64,9%
	F-Measure	22,9%	77,3%	50,1%

Tabla 21: Modelo IA por Grupo Etario - 2 Niveles de Riesgo (Elaboración propia)

Analizando de manera general los indicadores, el modelo *logit* es el que muestra mejores resultados, sin embargo, como fue explicado anteriormente, el modelo propuesto en este trabajo genera resultados aceptables que lo hacen competente con los modelos convencionales evaluados, los cuales son entrenados para detectar un patrón en particular. Esto indicaría que el modelo propuesto *IA* puede ser escalable para detectar cualquier tipo de anomalía a partir de los signos vitales.

Otro elemento importante a considerar en la evaluación tiene relación con los resultados del modelo por grupo etario. En la tabla 21 se pueden ver los resultados de precisión y sensibilidad sub-dividido por segmento etario. El modelo *IA* muestra la mejor precisión para aquellos pacientes entre 2 y 10 años, sin embargo, considerando la sensibilidad sobre el estado grave, aquellos pacientes entre 6 meses y 2 años muestran mejores resultados, bajando la precisión global a un 74,1%, pero la sensibilidad sobre el estado grave aumenta a un 70%.

En la sección de anexos *Anexo E: Resultados Modelos Predictivos por Grupo Etario*, se muestra en detalle los resultados para cada modelo por grupo etario, esto considerando dos y tres niveles de riesgo.

13.2.2. Resultados Considerando Tres Niveles de Riesgo

A continuación se validan los resultados solo considerando el modelo de *Árbol de Decisión*, ya que el modelo *Logit* no soporta clasificaciones con tres o más estados.

Para obtener resultados consistentes con lo propuesto en la metodología de diseño del modelo *IA*, es que los umbrales considerados para nivel de riesgo “alto” son registros con puntaje global mayor o igual a 6, para riesgo “moderado” se considera puntaje global entre 4 y 5, y para riesgo “bajo” un puntaje global menor a 4.

<i>IA</i>		Predicción			Promedio
		Riesgo Alto	Riesgo Moderado	Riesgo Bajo	
Observado	Riesgo Alto	21	10	5	
	Riesgo Moderado	22	48	77	
	Riesgo Bajo	15	74	339	
Resultados	<i>Precisión</i>	36,2%	36,4%	80,5%	51,0%
	<i>Specificity</i>	93,6%	81,9%	55,2%	76,9%
	<i>Sensitivity</i>	58,3%	32,7%	79,2%	56,7%
	<i>Accuracy</i>	91,5%	70,0%	72,0%	77,9%
	<i>F-Measure</i>	44,7%	34,4%	79,9%	53,0%

Tabla 22: Resultados Modelo *IA* para 3 Niveles de Riesgo (Elaboración propia)

Árbol de Decisión		Predicción			
		Riesgo Alto	Riesgo Moderado	Riesgo Bajo	Promedio
Observado	Riesgo Alto	25	7	4	
	Riesgo Moderado	3	66	78	
	Riesgo Bajo	2	11	414	
Resultados	Precisión	83,3%	78,6%	83,5%	81,8%
	Specificity	99,1%	96,1%	55,2%	83,5%
	Sensitivity	69,4%	44,9%	97,0%	70,4%
	Accuracy	97,4%	83,8%	84,5%	88,5%
	F-Measure	75,8%	57,1%	89,7%	74,2%

Tabla 23: Resultados Modelo Árbol de Decisión para 3 Niveles de Riesgo (Elaboración propia)

En las tablas 22 y 23 se muestran los resultados de los modelos *IA* y *Árbol de Decisión* respectivamente. Se aprecia que el modelo de *Árbol de Decisión*, que de aquí en adelante lo denominaremos *AD*, presenta un mejor desempeño en todos los indicadores, lo cual podría indicar un posible sobreajuste, ya que debiera ocurrir que a medida que se aumentan los niveles de clasificación, la precisión total debiera disminuir, pero esta aumenta de un 73,9% a un 82,8%, esto considerando todos aquellos registros acertados sobre el total de registros para dos y tres niveles de riesgo, respectivamente.

Debido a que el modelo *AD* presenta una extraña alta precisión, es que es necesario analizarlo, determinando si es confiable para nuevos registros en el futuro, y si genera reglas generalizables para prevenir posibles crisis, y no este sobreajustándose a los datos analizados.

En la sección de anexos *Anexo D: Modelos Logit y Árbol de Decisión Generados*, es posible ver con mayor detalle los parámetros generados y las reglas de decisión para los modelos *Logit* y *AD*, esto considerando los casos con dos y tres niveles de riesgo. En particular, nos interesa el modelo *AD* generado. A partir de las reglas generadas, se aprecia inmediatamente que el modelo *AD* no genera un patrón consistente entre ambos tipos de entrenamiento (dos y tres niveles de riesgo), esto debido a que la frecuencia respiratoria en el primer modelo presenta una jerarquía muy baja, discriminando solo en el cuarto nivel de bajada, y solo en una hoja del árbol, pero en el caso del modelo generado con tres niveles, la frecuencia respiratoria toma una jerarquía más relevante, estando en el segundo nivel de bajada. Lo anterior indica que este indicador cambia su importancia dependiendo de cómo el modelo es entrenado, lo cual muestra una clara inconsistencia para detectar posibles crisis. Además de lo anterior, existen ciertas ramas en donde las reglas del modelo *AD* mostrarían cierta inconsistencia, por ejemplo, al analizar la regla de $fc \leq 140.5, t > 37.95, fc > 129.5$, luego se realiza una apertura por la edad del paciente, evaluando a aquellos mayores a 15.2 meses con un grado más estable que aquellos más pequeños, lo que contradice la literatura. Esto debido a que pacientes menores suelen tener una frecuencia cardíaca más variable, en particular, es altamente probable que puedan tener un rango entre 129 y 140, pero a medida que el paciente es más adulto, este tiende a bajar su rango de normalidad de frecuencia cardíaca, por lo tanto, en este sentido el modelo sería contradictorio con el verdadero grado de riesgo del paciente.

Si bien los resultados muestran una mejor precisión y sensibilidad para el modelo *AD*, los argumentos expuestos anteriormente indican que este modelo presenta una alta probabilidad de sobre-ajuste ante un patrón específico, y no generaría patrones confiables para predecir riesgo en el futuro. En esta misma línea, el modelo *IA* propuesto presenta niveles de precisión y sensibilidad aceptables, indicando una buena capacidad para detectar riesgo.

Además de las explicaciones anteriores, es importante mencionar el objetivo y rol del modelo predictivo en el proceso de monitoreo a distancia. Este funciona como soporte para las decisiones que debe tomar el médico encargado del paciente, ya que el riesgo real depende de muchas otras variables que no son capturadas por los modelos. En conjunto con esto, se busca generar patrones generalizables capaces de detectar riesgo, en este sentido, el modelo *IA* si cumple a cabalidad este objetivo, ya que está fundado sobre el conocimiento experto, y los resultados muestran que presenta una buena precisión y sensibilidad para detectar niveles altos de gravedad.

Item	IA	Logit	AD
Nivel de Precisión	Media	Alta	Alta
Nivel de Sensibilidad	Alta	Media-Alta	Media
Probabilidad de Sobre-Ajuste	Baja	Media	Alta
Generalizable ante Futuros Registros	Media-Alta	Media	Baja
Coherente con Conocimiento Médico	Alta	Media-Alta	Medio
Facilidad para Entenderlo	Alta	Media	Media

Tabla 24: Análisis Conjunto Modelos Evaluados (Elaboración propia)

En la tabla 24 se aprecia un análisis completo evaluando los tres modelos analizados. Es posible ver que los modelos convencionales *Logit* y *AD* son los que mejores resultados muestran considerando precisión, pero el modelo *IA* propuesto sigue siendo competitivo en este aspecto, y tiene como ventaja que es más sensible ante estados riesgosos que modelos convencionales. Los resultados indican que el modelo *AD* tiene una alta propensión a estar sobre-ajustado, debido a los argumentos expuestos anteriormente, además de esto, el modelo *IA* muestra una mayor probabilidad de ser generalizable ante futuros registros y distintos comportamientos, debido a que en ninguna fase de su modelación se consideraron los datos actuales de validación, por lo tanto, en la prueba actual demostró que presenta buenos índices de precisión y sensibilidad para predecir riesgo. En conjunto con esto, el modelo *IA* presenta una mayor propensión para ser considerado como una real ayuda hacia los médicos encargados del paciente, debido a que se fundamenta sobre conocimiento experto, por lo tanto, presenta una consistencia y coherencia mayor que los otros modelos.

Finalmente, como principales conclusiones del modelo *IA* generado en este trabajo es posible mencionar lo siguiente:

- La precisión para estimar niveles altos y bajos de gravedad es considerada bastante buena, ya que los datos sobre el cual es probado son desconocidos para el modelo, por lo que es altamente probable que en el futuro, ante nuevos registros, el modelo presentado en este trabajo se comporte de mejor manera que otros modelos convencionales evaluados.
- El modelo realizado se basa sobre el razonamiento experto de médicos, por lo que resulta mucho más familiar para los profesionales de salud involucrados en el proceso, creando facilidades para la gestión del cambio en su implementación.
- El modelo generado en este trabajo no solo es mucho más intuitivo que modelos convencionales, sino que es capaz de clasificar el riesgo en distintos estados de manera precisa, estableciendo una guía a seguir para las acciones y protocolos preventivos.

13.3. Resultados Usabilidad Aplicación Móvil

Para validar la usabilidad de la aplicación móvil se encuestó a un total de 16 profesionales de salud. La composición de la muestra es posible apreciarla en el gráfico 7. Se puede ver que gran parte de los profesionales de la muestra son enfermeros, conformando un 75% del total de personas.



Gráfico 7: Composición Encuestados Aplicación Móvil (Elaboración propia)

En la sección de anexos *Anexo F: Encuesta para Usabilidad de Aplicación Móvil*, se muestra en detalle todos los ítems evaluados en la evaluación de usabilidad. Como se explicó anteriormente, una escala de 5 niveles de *Likert* fue utilizada, en donde un valor 5 significa que el usuario está totalmente de acuerdo con la afirmación, y valor 1 totalmente desacuerdo.

Item		Promedio
1	Encuentro atractivo el software	4.8
2	El software es útil	4.8
3	El software es fácil de usar	4.1
4	El software permite ver datos relevantes del paciente	4.6
5	El software permite generar acciones de manera oportuna	4.4
6	El software permite visualizar de manera correcta la información transmitida	4.4
7	El software genera notificaciones adecuadas en base al riesgo del paciente	4.0
8	Estoy satisfecho con las características del software	4.1
9	El software muestra información valiosa para la toma de decisiones preventivas	4.3
Evaluación General de 1 a 7		6.2

Tabla 25: Resultados Usabilidad Aplicación Móvil (Elaboración propia)

En la tabla 25 se puede ver los resultados generales del total de personas encuestadas. Se aprecia que la totalidad de los ítems presenta un promedio mayor o igual a 4.0, lo que indica que en general los usuarios ven a la aplicación como útil y fácil

de usar, los usuarios presienten que esta si entrega información capaz de apoyar el protocolo preventivo, y aporta en la toma de decisiones en relación a la salud del paciente.

Dentro de los elementos relevantes a destacar, se aprecia que un 100% de los encuestados considera que el software es útil, y un 81% considera que la aplicación es fácil de usar, y la misma proporción de usuarios (81%), encuentra que la aplicación permite generar acciones preventivas de manera oportuna. En relación a las notificaciones enviadas, un 63% está de acuerdo que la aplicación genera notificaciones adecuadas al riesgo del paciente, y un 19% está totalmente de acuerdo.

Otro aspecto importante a analizar tiene que ver con la confiabilidad de la muestra, la cual puede ser aproximada mediante el indicador de *alpha de cronbach*¹⁹, el cual es generado en función de los siguientes parámetros: número de ítems de la prueba, covarianza promedio dentro de los pares de ítems, y la varianza del puntaje total. **El *alpha de cronbach* de la muestra tiene un valor de 0,84**, esto considerando un total de 9 ítems y 16 personas encuestadas. Este indicador muestra una buena consistencia interna de la muestra, lo que indica que los resultados obtenidos son bastante confiables.

Realizando un análisis estadístico sobre los ítems evaluados, se busca determinar el intervalo de confianza para cada ítem con un 95% de confiabilidad. En la tabla 26 es posible apreciar esto, en donde se puede ver que los ítems mejor evaluados corresponden a la utilidad (ítem 2) y atractivo de la aplicación (ítem 1), y los peores evaluados corresponden a la facilidad de uso del software (ítem 3), y lo relacionado a las notificaciones en base al riesgo del paciente (ítem 7).

	Item	Intervalo Confianza (95%)
1	Encuentro atractivo el software	[4,61 - 5,00]
2	El software es útil	[4,53 - 4,97]
3	El software es fácil de usar	[3,73 - 4,40]
4	El software permite ver datos relevantes del paciente	[4,25 - 4,87]
5	El software permite generar acciones de manera oportuna	[3,98 - 4,77]
6	El software permite visualizar de manera correcta la información transmitida	[4,02 - 4,73]
7	El software genera notificaciones adecuadas en base al riesgo del paciente	[3,69 - 4,31]
8	Estoy satisfecho con las características del software	[3,73 - 4,40]
9	El software muestra información valiosa para la toma de decisiones preventivas	[3,92 - 4,70]
Evaluación General de 1 a 7		[5,92 - 6,42]

Tabla 26: Intervalo Confianza Ítems Evaluados (Elaboración propia)

¹⁹ Alpa de Cronbach: En el campo de estadística es utilizado para estimar la confiabilidad de pruebas psicométricas.

Lo anterior indica que los principales aspectos a mejorar tienen relación con la interfaz de la aplicación, para facilitar la navegación dentro de esta, y la forma en que se despliega la información asociada a las notificaciones preventivas.

Finalmente, es importante considerar cuales son los ítems más importantes para los usuarios encuestados, para esto se realiza un análisis de correlación entre cada ítem evaluado con la evaluación general de la aplicación. Los resultados muestran que los ítems con mayor correlación con la evaluación general son los siguientes: aquel relacionado a la generación de notificaciones adecuadas en base al riesgo del paciente (ítem 7, correlación 0,84) y aquel que permite ver datos relevantes del paciente (ítem 4, correlación 0,73). Lo anterior entrega ciertos *insights* sobre las características que más valoran los usuarios. A partir de la tabla 26, se aprecia que el ítem 7 necesita ser mejorado, y el ítem 4 es uno de los que mejores resultados muestra en la evaluación, en donde un 94% de los usuarios está de acuerdo o totalmente de acuerdo con esta afirmación, indicando que la aplicación efectivamente muestra información relevante del paciente.

14. Análisis Económico

El presente capítulo define las principales variables a considerar para la realización de la evaluación económica del proyecto. Una vez definidas estas variables, se analizan los beneficios económicos de este, efectuando distintos análisis de sensibilidad sobre las principales variables que pueden afectar el éxito económico del proyecto.

14.1. Análisis de Variables Relevantes

A continuación se analizarán las variables más relevantes para la realización de la evaluación económica del proyecto. Dentro de estas es posible distinguir las siguientes: plazo del proyecto, tasa de descuento, estructura de ingresos, estructura de costos y consideraciones sociales.

- **Plazo del Proyecto:** Considerando la rápida evolución de las tecnologías, y un eventual cambio en el comportamiento de los pacientes que podría gatillar una posible reestructuración del proceso, se estima que la evaluación del proyecto debe realizarse a 5 años.
- **Tasa de Descuento:** Se realiza una evaluación “privada” del proyecto, es decir, sólo se analiza aquellos costos e ingresos efectivos que tiene el proyecto. A pesar de lo anterior, esto se hace desde la perspectiva del estado, es decir, se analizan todos aquellos ahorros en los que incurre el estado a través de la ejecución del proyecto. Por lo tanto, se hace utilización de la tasa social de descuento, que de acuerdo a estudios del ministerio de desarrollo social, es de un 7% aproximadamente [45].
- **Estructura de Ingresos:** Los ingresos provienen de dos fuentes principales.
 - A) Disminución de costo de recursos médicos debido a una liberación de recursos. Con un efectivo monitoreo a distancia, se logrará evitar ciertas visitas de algunos profesionales médicos, por lo tanto, el beneficio se obtiene a través del ahorro de uso de estos recursos.
 - B) Disminución de costos asociados a hospitalizaciones no programadas. Al poder prevenir de manera efectiva las crisis, se evita que los pacientes sufran descompensaciones graves, evitando aquellos gastos asociados a hospitalizaciones de urgencia con riesgo vital.
- **Estructura de Costos:** Si bien anteriormente se remarcó que los alcances del proyecto están enfocados en aquellos procesos que ocurren luego de que los datos han sido transmitidos, en la estructura de costos se considera el proceso global, es decir, todo aquello necesario para recopilar los datos, transmitirlos y lograr una

adecuada ejecución del mecanismo preventivo. Es por lo anterior que la estructura de costos es la siguiente:

- Sensores para la transmisión de signos vitales
 - Ingeniero encargado de la configuración de los sensores
 - Profesional administrador de redes, cuya función será la de conectar aquellos sensores a la red inalámbrica
 - Ingeniero líder y de apoyo del proyecto
 - Costo HH de profesionales de salud del hospital
 - Desarrollador Web
 - Costo de mantención
- **Consideraciones Sociales:** Si bien la evaluación anterior se hace sobre la base de una evaluación privada, el proyecto presenta muchos beneficios sociales que merecen una distinción. En primer lugar, se mejorará la calidad de vida de los pacientes, disminuyendo la tasa de mortalidad de la población de pacientes hospitalizados en sus domicilios. Además de esto, logrando un mejor uso de los recursos mediante una disminución de hospitalizaciones no programadas, será posible atender a una mayor cantidad de personas que sean derivadas a camas críticas del hospital.

14.2. Evaluación Económica

14.2.1. Inversión

La inversión del proyecto está compuesta por tres elementos principales: Sensores o dispositivos de transmisión de signos vitales, desarrollo de modelos e implementación del proyecto.

- **Sensores.** Estos serán utilizados para transmitir los datos asociados a los signos vitales de los pacientes. El costo unitario de cada kit es en promedio de 450 euros²⁰. Se consideró una tasa de cambio CLP/EUR de 751,2 pesos chilenos. Además de lo anterior, actualmente existen 55 pacientes hospitalizados en sus domicilios, por lo que el costo asociado a este punto llegaría a un total de \$ 18.592.200.

²⁰ Fuente: <http://www.cooking-hacks.com/>.

- **Desarrollo de Modelos.** Se desarrollará un modelo de predicción del riesgo de crisis en los pacientes. Para esto es necesario utilizar horas de un médico, quien validará los avances, horas de un ingeniero líder y un tesista. Se utilizó un valor de HH para el médico de 20.000, para el ingeniero líder de 20.000, y para el tesista un valor HH de 2.000²¹. El costo total de este punto es de \$ 3.120.000.

Inversión		
Sensores	Cantidad	55
	Costo Unit.	338.040
	Costo Total Sensores	18.592.200
Desarrollo Modelos	Horas Médico	12
	Horas Ingeniero Líder	120
	Horas Tesista	240
	Valor Médico	240.000
	Valor Ing. Líder	2.400.000
	Valor Tesista	480.000
	Costo Total Desarr. Mod.	3.120.000
Implementación Proyecto	Horas Ing. Informático	360
	Horas Desarrollador Web	360
	Horas Ing. Líder	120
	Horas Ing. De Apoyo	240
	Horas Médico (Capacitación)	40
	Horas Enfermera (Capacitación)	40
	Costo Capacitación Médicos	800.000
	Costo Capacitación Enfermeras	380.000
	Valor Ing. Informático	3.000.000
	Valor Desarrollador Web	1.800.000
	Valor Ing. Líder	2.400.000
	Valor Ing. de Apoyo	1.560.000
	Costo Total Impl. Proy.	9.940.000
	COSTO TOTAL INVERSIÓN	34.817.420

Tabla 27: Inversión del Proyecto

- **Implementación del Proyecto.** Esta es la última fase del proyecto, en donde se deberán implementar todos aquellos desarrollos tecnológicos. Se estima el plazo de ejecución de la implementación del proyecto será de 4 meses. Será necesario contratar a un ingeniero informático durante dos meses full –time, para la configuración adecuada de los sensores para la transmisión de la data. Un desarrollador web 2 meses full – time, un ingeniero líder del proyecto que le dedicará 7,5 horas semanales durante 4 meses, y un ingeniero de apoyo que dedicará 15 horas semanales durante 4 meses. El rol del ingeniero líder será el de validar todos los avances del proyecto, y el ingeniero de apoyo estará apoyando el avance del proyecto, dedicando mayor tiempo en terreno. En conjunto con lo anterior, algunas horas deberán ser dedicadas para capacitar a los médicos para el uso de las aplicaciones móviles y web. En este punto se requerirá de

²¹ Fuente: Valores aproximados de gobierno transparente. <http://www.gobiernotransparentechile.cl/>.

aproximadamente 1 reunión cada 2 semanas durante 2 meses. Se estima que en promedio se deberá capacitar a 10 médicos y 10 enfermeras. Lo anterior entrega un total de 40 horas utilizadas de los médicos, y 40 horas de enfermeras por concepto de capacitación. Se utilizó un valor HH de las enfermeras de 9.500 y 20.000 para el caso de los médicos. En resumen, se espera que el costo total de implementación del proyecto sea de \$ 9.940.000.

14.2.2. Costos Operacionales

Los costos operacionales están asociados a la mantención de los modelos predictivos, mantención de aplicación móvil y web, y un costo de reposición de sensores. En este último aspecto, se espera que los sensores fallen con cierta probabilidad, incurriendo en un costo de reposición de estos. Se estima que la tasa de falla para el primer año será de un 2%, creciente en un 2% para cada año, llegando a una tasa de falla de un 10% para el año 5.

Costo Año 1		
Afinación Desarrollo Modelos	Horas Anual Médico	24
	Horas Anual Ing. Industrial	150
	Costo Médico	480.000
	Costo Ing. Industrial	1.200.000
Mantención Sensores y App Móvil y Web	Ing. Informático	1.494.000
Reposición Sensores (Tasa falla 2%)	Costo Sensores	338.040
TOTAL COSTO AÑO 1		3.512.040

Tabla 28: Costos Operacionales Año 1

En la tabla 28 se puede apreciar el ítem de costo de afinación de desarrollo de modelos, este punto es muy importante, ya que se estima que los modelos requerirán de muchas correcciones durante el primer año de operación, esto debe a que el comportamiento de los pacientes puede ser muy variable en el tiempo. Para este punto se estima que será necesaria la disposición de un médico por un intervalo de 2 horas al mes durante todo el primer año, para validar todas las modificaciones, y una dedicación de un ingeniero de apoyo quien realizará y evaluará las modificaciones a los modelos. Para los años siguientes, se deberá realizar sólo pequeñas modificaciones a los parámetros de los modelos, por lo que la dedicación será menor, como se aprecia en la tabla 29.

Para los años 1 al 5, será necesaria la mantención de aplicaciones tecnológicas, esta tarea la hará un ingeniero informático con una dedicación de 15 horas mensuales, a un valor HH de 8.300²².

²² Fuente: Se consideró un promedio desde varias fuentes de información en el mercado chileno.

		Costo Año 2	Costo Año 3	Costo Año 4	Costo Año 5
Mantenimiento Sensores, Aplicación Móvil y Web	Horas Mensual Ing. Informático	15	15	15	15
	Costo Anual Ing. Informático	1.494.000	1.494.000	1.494.000	1.494.000
Mantenimiento Algoritmos	Horas Anual Ing. Industrial	90	90	90	90
	Costo Anual Ing. Industrial	720.000	720.000	720.000	720.000
Reposición Sensores	Costo Sensores	676.080	1.014.120	1.352.160	1.690.200
TOTAL COSTO MANTENCIÓN ANUAL		2.890.080	3.228.120	3.566.160	3.904.200

Tabla 29: Costos Operacionales Año 2-5

14.2.3. Ingresos Operacionales

Como se explicó anteriormente, los beneficios del proyecto están asociados a una reducción de HH destinadas a controles en visitas a los domicilios, y un ahorro asociado a una reducción de hospitalizaciones no programadas, específicamente hospitalizaciones de carácter de urgencia con riesgo vital.

	Ahorros	Costos Sin Proyecto	Costos Con Proyecto
Ahorro de HH Visitas a Domicilio	Visitas Médicos	1 al Mes	Reducción 20%
	Visitas Enfermeras	2 al Mes	Reducción 50%
	Costo Mensual Visita 1 Médico	30.000	24.000
	Costo Mensual Visita 1 Enfermera	28.500	14.250
	Costo Mensual Considerando 55 Pacientes	3.217.500	2.103.750
	Ahorro Anual Visitas	13.365.000	
Ahorro asociado a reducción de Hospitalizaciones	Valor Día Cama UCI Aprox.	400.000	
	Costo Anual x Concepto Hosp.	61.600.000	44.000.000
	Ahorro Anual efectivo por Hospitalizaciones	14.960.000	
TOTAL AHORRO ANUAL		28.325.000	

Tabla 30: Beneficios Esperados del Proyecto

En la tabla 30 se aprecian los beneficios esperados del proyecto. Analizando el ahorro de recursos humanos destinados a controlar al paciente en el domicilio, se estima que el mayor impacto será en las enfermeras, ya que actualmente su rol es el de controlar que el cuidador este siguiendo adecuadamente las indicaciones del médico, y controlar otros indicadores del paciente, y se estima que mediante un efectivo control a distancia, la frecuencia con que realizan los controles puede reducirse drásticamente. Con respecto a los médicos, se cree que el proyecto incidirá principalmente en una reasignación de estos, es decir, sus visitas las realizarán dirigidas a aquellos pacientes que presenten un comportamiento más inestable en el tiempo, reduciendo aquellas visitas en aquellos pacientes más estables. Sin embargo, aun así se cree que existirá una disminución de la tasa de visitas de los médicos a los domicilios, pero esta será

menor a la reducción de las visitas de las enfermeras. Se estima que el proyecto puede reducir en un 50% las visitas de las enfermeras, y un 20% las visitas de los médicos.

Existe otro recurso importante que actualmente realiza visitas a los domicilios de los pacientes con mayor frecuencia, estos son los kinesiólogos. El rol de ellos es básicamente realizar un tratamiento kinesiológico hacia el paciente, por lo tanto, al hacer un tratamiento de recuperación de la condición de salud, se hace difícil reemplazar su labor, por lo que el proyecto no incidirá en las visitas que realizan ellos.

Al analizar el ahorro asociado a la reducción en la tasa de hospitalizaciones no programadas, en el año 2013, aproximadamente el 20% de los pacientes que actualmente están hospitalizados en sus domicilios sufrió una crisis de urgencia con riesgo vital, que conllevó a una hospitalización no programada de la UPC²³.

Por otro lado, al analizar todos los costos que incurre el estado en una hospitalización no programada en la UPC, se puede destacar el costo asociado al transporte que efectúa el SAMU y el costo de día cama en el hospital, entre otros. Actualmente no se cuenta con información clara sobre los servicios realizados en cada hospitalización con carácter de urgencia con riesgo vital. Por ejemplo, cuántas de estas llegadas fueron a través de SAMU y cuántas no, entre otros factores. Además de esto, el costo de transporte asociado al SAMU es mucho menor al costo de estadía en el hospital, por lo que con el objetivo de no sobre – estimar un potencial aumento de ahorros, sólo se analiza el ahorro asociado al costo de estadía en el hospital.

Dentro de las hospitalizaciones analizadas en el año 2013, en promedio, estas tuvieron una duración de 10 días de estadía en la UPC, y algunos días de estada en la unidad de pediatría (Cama Básica), sin embargo, para esta última estadía se hace más difícil estimar un promedio, debido a la mala calidad de datos, y en conjunto con esto, el costo de estadía diario en esta unidad es mucho menor al de UPC, por lo que para estimar el ahorro incurrido con el proyecto se analiza sólo el ahorro asociado a días de cama utilizados en la UPC.

Como se mencionó anteriormente, en promedio, actualmente uno de cada cinco pacientes sufre una crisis de carácter de urgencia con riesgo vital durante un año, y un paciente de sufrir una crisis de esta magnitud, en promedio, permanece 10 días hospitalizado en la UPC. Tomando en cuenta esto, los costos actuales asociados a hospitalizaciones no programadas ascenderían a un total de \$ 44.000.000 anuales, considerando a los 55 pacientes. Con el proyecto, se espera lograr una mejora significativa en este ámbito, logrando que al menos uno de cada 7 pacientes sufra una crisis de estas características.

²³ Fuente: Su estimación se realizó sobre el número de hospitalizaciones en el año 2013 sobre el grupo objetivo a estudiar.

Pero el ahorro efectivo por evitar una crisis de esta magnitud no corresponde al costo total de la hospitalización, ya que dependiendo del seguro de salud del paciente, este deberá cancelar distintos niveles de co-pago. Hoy en día, muchos tramos de FONASA cubren prácticamente el 100% de los costos asociados a hospitalizaciones de urgencia con riesgo vital, pero hay otros tramos en donde se puede llegar a cancelar hasta un 25% de la hospitalización. Para tener en cuenta el efecto del co-pago en algunos pacientes, se utilizó un 15% como promedio, es decir, si analizamos el ahorro efectivo por evitar una hospitalización de estas características, el estado se estaría ahorrando un 85% del costo total por concepto de hospitalización.

Cabe incluir en el análisis de ingresos que el efecto generado por el proyecto no será instantáneo. Para el caso de la reducción de visitas de enfermeras, se espera que en el primer año se logre un 50% del beneficio esperado, para el año 2 un 80%, y del año 3 en adelante un 100%. Por otro lado, se espera que el beneficio por una reducción de hospitalizaciones no programadas se alcance con mayor rapidez, llegando a un 80% del beneficio esperado el primer año, y un 100% en los años siguientes.

Los beneficios generados por un ahorro por concepto de visitas, y una disminución en la tasa de hospitalización, puede apreciarse en la tabla 31.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ahorro Anual por Visitas	6.682.500	10.692.000	13.365.000	13.365.000	13.365.000
Ahorro Anual efectivo por Hosp.	11.968.000	14.960.000	14.960.000	14.960.000	14.960.000

Tabla 31: Ingresos Operacionales por Concepto de Ahorros

14.2.4. Flujo de Caja

En la tabla 32 se puede apreciar el flujo de caja del proyecto, evaluado en un plazo de 5 años. Se consideró una tasa de descuento de 7%, que es la tasa social de descuento. Como se explicó anteriormente, se utiliza la tasa social de descuento ya que el ahorro de costos que se analiza como el ahorro de costos en que incurre el estado, y no el hospital.

Por ser una institución pública, esta no presenta impuestos a las utilidades, por lo tanto, las componentes que no representan una variación efectiva de dinero, como por ejemplo, depreciaciones e impuesto a las utilidades, no son consideradas en el flujo.

El proyecto presenta un **VAN de \$ 52.334.990, y una TIR de un 52%**. Al analizar estos valores, podemos ver que es claramente rentable, ya que no estamos considerando aquellos beneficios sociales, como por ejemplo, la mejora en la calidad de vida de los pacientes, y una posible reducción en la tasa de mortalidad de estos.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
(+) Ahorro visitas Domicilio		6.682.500	10.692.000	13.365.000	13.365.000	13.365.000
(+) Ahorro Costos Hospitalización		11.968.000	14.960.000	14.960.000	14.960.000	14.960.000
TOTAL INGRESOS		18.650.500	25.652.000	28.325.000	28.325.000	28.325.000
(-) Mantención Sensores y Aplicaciones		-1.494.000	-1.494.000	-1.494.000	-1.494.000	-1.494.000
(-) Mantención Algoritmos		-1.680.000	-720.000	-720.000	-720.000	-720.000
(-) Costo Reposición Sensores		-338.040	-676.080	-1.014.120	-1.352.160	-1.690.200
TOTAL COSTOS OPERACIONALES		-3.512.040	-2.890.080	-3.228.120	-3.566.160	-3.904.200
Resultado operacional		15.138.460	22.761.920	25.096.880	24.758.840	24.420.800
(-) Sensores	- 18.592.200					
(-) Desarrollo Modelos	- 3.120.000					
(-) Implementación Proyecto	- 9.940.000					
TOTAL INVERSIÓN	- 34.817.420					
Flujo Proyecto	- 34.817.420	15.138.460	22.761.920	25.096.880	24.758.840	24.420.800

Tabla 32: Flujo de Caja del Proyecto a 5 años

A continuación se realizarán dos análisis de sensibilidad para ver cómo cambia la rentabilidad del proyecto en distintos escenarios. La sensibilidad más importante de la rentabilidad de este puede estar dada por el potencial ahorro de HH por concepto de visitas de enfermeras, o bien por la potencial disminución en la tasa de hospitalizaciones de los pacientes durante un año. Esto será analizado en el siguiente apartado.

14.3. Análisis de Sensibilidad

14.3.1. Sensibilidad sobre Tasa de Reducción de Visitas de Enfermeras

Se realiza un análisis sobre la potencial reducción de visitas de las enfermeras, ya que dada las características del proyecto, se estima que este es el recurso con el que se puede prescindir, para efectos de controles en el domicilio.

Al realizar una sensibilidad del VAN y TIR sobre el porcentaje de reducción de visitas de las enfermeras, se puede apreciar en gráfico 8 que la relación es casi lineal, a pesar de esto, si evaluamos la pendiente de la curva de la TIR, esta es más alta en el tramo de 20% a 50%, y menor en el tramo de 50% a 80% de reducción de visitas de enfermeras. Si comparamos las pendientes en los tramos extremos de las curvas de TIR, la del tramo inferior (20% - 30%) es un 16% más grande que la del tramo superior (70% - 80%). El caso base del proyecto es una reducción de un 50%, teniendo en

consideración esto, el proyecto es más sensible a una reducción menor a la esperada, que a una reducción mayor la esperada.

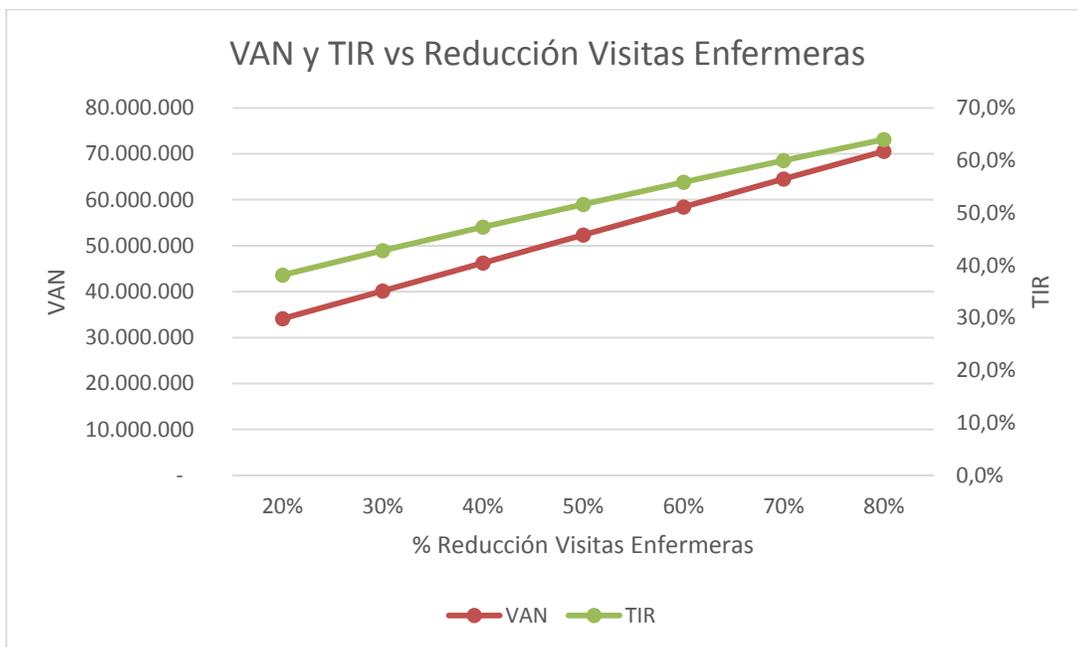


Gráfico 8: Sensibilidad de VAN y TIR sobre Reducción de Visitas de Enfermeras (Elaboración propia)

14.3.2. Sensibilidad sobre Tasa de Reducción de Hospitalizaciones no Programadas

En la gráfico 9 podemos apreciar cómo afecta en la rentabilidad una variación en la reducción de la tasa de hospitalización. El eje x se lee de la siguiente manera, por ejemplo, cuando x es igual a 5,5, 1 de cada 5,5 pacientes sufre una crisis durante el año, por el contrario, cuando x es igual a 9, 1 de cada 9 pacientes sufre una crisis durante el año.

Podemos ver que esta curva no es lineal, y al parecer es mucho más sensible en los tramos en donde el eje x es menor. Si analizamos las pendientes de las curvas, está claramente disminuye al aumentar el eje x, es decir, al disminuir la tasa de hospitalización, más aún, si comparamos las pendientes de los tramos inferiores y superiores del eje x, la pendiente del tramo inferior (valor eje x entre 5,5 y 6), es un 177% mayor que la pendiente del tramo superior (valor eje x entre 8,5 y 9). Esto nos dice que la rentabilidad del proyecto es altamente sensible a reducciones en la tasa de hospitalizaciones inferiores a lo esperado, por el contrario, los beneficios de este no aumentan de manera significativa al tener reducciones de hospitalizaciones mayores a lo esperado.

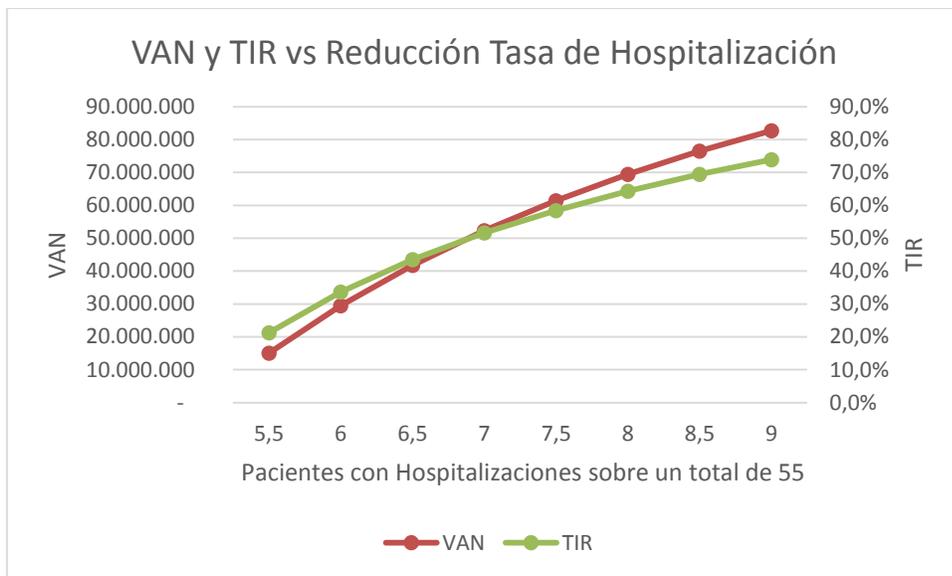


Gráfico 9: Sensibilidad de VAN y TIR sobre Disminución Tasa de Hospitalización (Elaboración propia)

Analizado lo anterior, es posible concluir que un factor crítico del éxito económico del proyecto es que este sea capaz de reducir la tasa con que los pacientes suelen caer en una crisis de carácter grave, por sobre la potencial disminución de visitas de profesionales médicos.

15. Generalización de la Experiencia

El capítulo número 15 del presente trabajo tiene como objetivo explicar el diseño genérico de la lógica que describe la problemática de monitoreo remoto de pacientes con enfermedades crónicas, a modo de extender esta problemática a otros dominios.

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.

La solución tecnológica que apoya el monitoreo remoto de pacientes con enfermedades crónicas, utilizando tecnologías móviles y modelos predictivos inteligentes, puede ser generalizada a fin de ser implementada en otros contextos similares. Lo anterior es conocido como *framework* de generalización.

El *Framework* es una estructura genérica de clases, que sirve como base común para el desarrollo de software en organizaciones 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. O. Barros explica que este concepto de *Framework* se encuentra orientado hacia a una lógica de negocio compleja, y está basado en métodos analíticos avanzados, provenientes de Estadística e Inteligencia de Negocios [46].

De acuerdo al docente O. Barros, existen tres elementos principales en los que un *framework* de generalización debe basarse para su realización:

1. **Procesos para un Dominio Definido:** Define el dominio de acción de la problemática a considerar. En este paso se establecen los requisitos de la tecnología a implementar, y las características generales que determinan la problemática resuelta en el presente trabajo.
2. **Lógica de Negocios Genérica:** Establece una serie de reglas genéricas que soportan el dominio de la problemática, teniendo en consideración diferentes especializaciones que acotarán el dominio de acción de la lógica de negocio.
3. **Diseño del *Framework*:** En este paso se definen las distintas clases comunes y particulares del *framework*, manteniendo una flexibilidad necesaria que permita actuar con cierta especialización en el dominio.

15.1. Definición del Dominio

La problemática de monitoreo remoto de pacientes crónicos utilizando tecnologías móviles y modelos inteligentes, puede asociarse principalmente a dominios relacionados con el *e-Health*, que se basa en la utilización de tecnología electrónica en la salud, y *telehealth*, asociado a tratamientos de salud a distancia. Sin embargo, los dominios recién planteados son un tanto amplios, por lo tanto, estos deben acotarse.

De acuerdo a la literatura, el *e-health* involucra la aplicación de la última tecnología de información y comunicación para la entrega de cuidado de salud. El término abarca un amplio rango de servicios o sistemas que se encuentran en el borde de la medicina e tecnologías de información [47]. En la ilustración 80 se aprecia cómo se interrelacionan estos dominios.

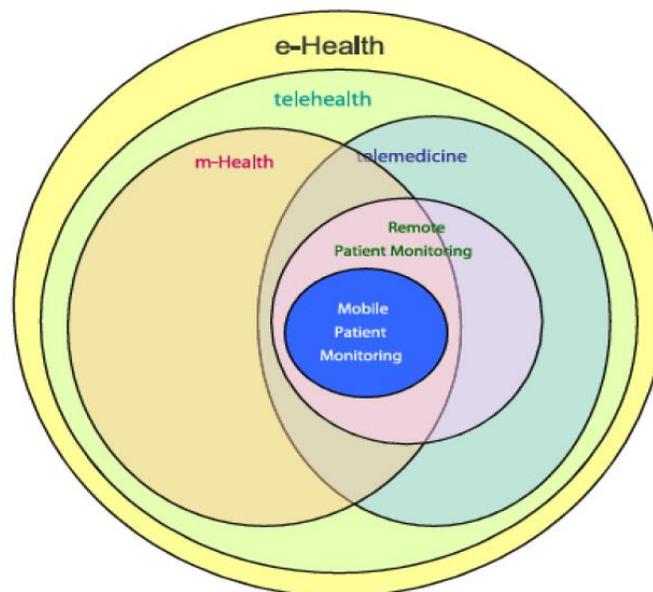


Ilustración 80: Paradigmas en el Dominio de e-Health
Fuente: Pawar P. et al. [47]

En la misma línea que el punto anterior, la problemática planteada en este trabajo está más orientada hacia el monitoreo remoto de pacientes, incluyendo el monitoreo móvil, ya que además de las tecnologías móviles, otras tecnologías son utilizadas.

La especialización de la problemática presenta una estrecha relación con el tipo de paciente y la patología que se busca monitorear. Si bien la metodología puede ser muy similar, el dominio debe sub-especializarse ya que las variables a monitorear dependen de cada dominio, pero la metodología preventiva es prácticamente la misma.

15.2. Lógica de Negocios Genérica

En esta sección se describe una generalización de la lógica a utilizar que resuelve la problemática de monitoreo remoto de pacientes mediante modelos inteligentes. Esta metodología cuenta principalmente con tres actividades genéricas. La primera, que caracteriza a los pacientes en distintos segmentos detectando comportamientos similares. La segunda actividad es la encargada de desarrollar y ejecutar el modelo inteligente de predicción de riesgo de crisis. Por último, se tiene la lógica que determina que comportamientos gatillan alertas, y como estas alertas deben ejecutarse para tomar efectivas acciones correctivas.



Ilustración 81: Lógica Genérica Monitoreo Remoto de Pacientes (Elaboración propia)

15.2.1. Segmentación de Pacientes

La segmentación de pacientes comienza por una categorización por grupos etarios y por tipo de patologías. En cada especialización del dominio se debe indicar en el software cuales son los grupos de edad que se quieren definir y cómo se clasifica cada patología. En la ilustración 82 se aprecia un esquema general de la lógica genérica de segmentación de pacientes.

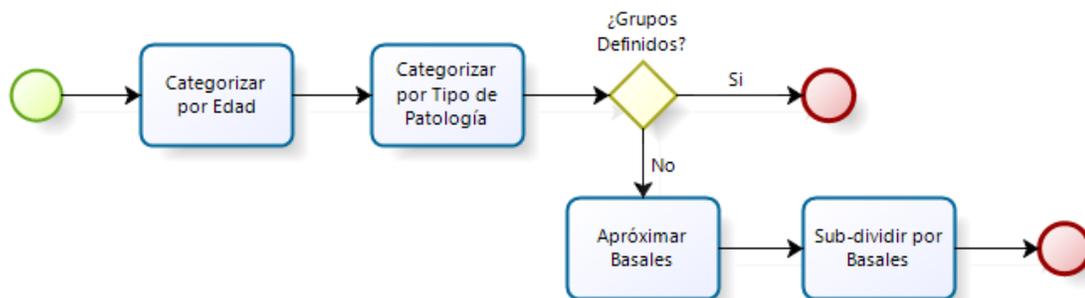


Ilustración 82: Lógica Genérica Segmentación de Pacientes (Elaboración propia)

Una sub-especialización por dominio dependerá del tipo de fuente de datos con la que se cuente. En esta sección del *framework* se considera aquellas organizaciones que utilizan una fuente de datos similar a la de este proyecto, es decir, datos del paciente proveniente de la hospitalización. En este paso se debe especificar que períodos de tiempo de los datos se debe utilizar, con el objetivo de realizar una aproximación de los estados basales del paciente. Una vez definido esto, el software

calcula el comportamiento de los indicadores de los pacientes, realizando una clasificación inicial por grupos etarios y patologías.

Para realizar la validación de los segmentos caracterizados, se calcula el promedio de los indicadores de interés en aquellos intervalos de tiempo establecidos. En este paso no se utiliza ningún algoritmo de segmentación. El software sólo despliega la aproximación de los estados basales para cada paciente, y posteriormente esta visualización de los datos debe ser validada por el profesional experto. En el caso de que los grupos no estén definidos, el sistema realiza una segmentación utilizando *k-means* hasta conformar cada sub-grupo.

15.2.2. Modelo Predictivo

Existen dos posibles metodologías a utilizar para la generación del modelo predictivo. La primera, puede utilizarse cuando la organización si cuenta con datos generados en el domicilio del paciente. En este caso la realización del modelo predictivo puede ser un tanto más amplia, ya que en primer lugar debe definirse la variable objetivo a estudiar, lo cual depende mucho de un criterio humano y poco sistematizable, para posteriormente entrenar los modelos. Este caso corresponde a una sub-especialización del dominio que no será abordada con mayor rigurosidad ya que el *framework* genérico busca apoyar aquellas organizaciones que no cuentan con datos en el domicilio.

En el caso de no contar con datos provenientes del domicilio, utilizando los datos de la hospitalización de los pacientes, el sistema identifica un comportamiento global de los indicadores de salud a analizar. El principal objetivo de este paso es analizar las distribuciones de las variables, y las correlaciones de unas con otras. Con el comportamiento identificado, el software genera una simulación de los indicadores de salud, para que posteriormente el profesional experto realice un etiquetado de niveles de riesgo. Con los datos de las etiquetas, el sistema genera el modelo predictivo basado en inteligencia artificial.

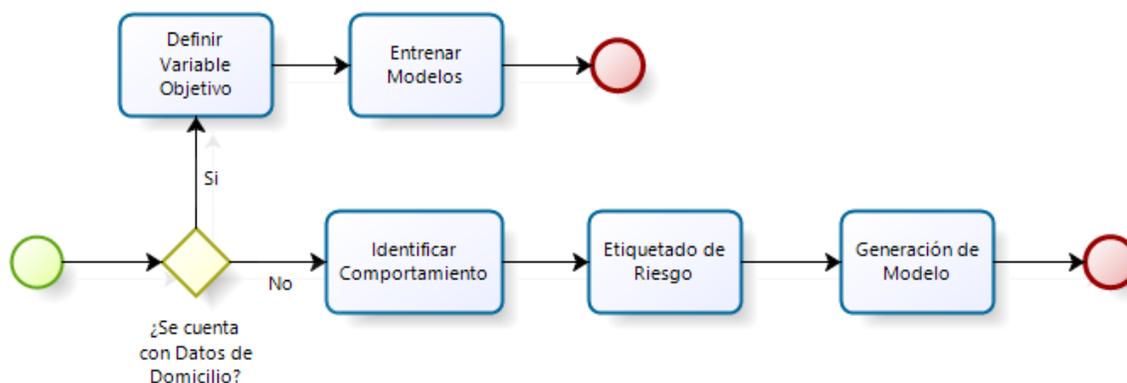


Ilustración 83: Lógica Genérica Modelo Predictivo (Elaboración propia)

15.2.3. Generación de Alertas Preventivas

El proceso de generación de alertas preventivas cuenta con dos sub-procesos importantes. El primero, corresponde a la estructuración del riesgo por desconocimiento de información. Este riesgo está latente en toda organización que realice un monitoreo de la condición de salud, ya que siempre existirá una probabilidad de no transmisión de indicadores, o de una transmisión errónea, la cual no puede ser utilizada como input para los modelos, y es tomado como un dato desconocido. Esta lógica es clave en un proceso preventivo, ya que usualmente los modelos predictivos se entrenan suponiendo que se tiene completa información de los indicadores a evaluar, sin tolerancia a la falta de información.

La lógica de riesgo por desconocimiento se sub-especializa en el dominio dependiendo si es que existe riesgo dinámico. Por riesgo dinámico se entiende que para calcular el riesgo efectivo del paciente, se requiere analizar a los indicadores en un intervalo de tiempo, y no puntos singulares en el tiempo. La lógica para cada uno de los casos es distinta, ya que de no contar con riesgo dinámico, la lógica por desconocimiento es menos compleja.

Una vez estructurado el riesgo por desconocimiento de indicadores de salud, se procede a estructurar las alertas. En este paso se requiere una especificación del usuario en el software, ya que dependiendo del dominio, la evaluación de la variación del riesgo será distinta, por lo que debe especificarse en el sistema la cantidad de niveles de riesgo que se intenta evaluar, en conjunto con la relevancia de cada uno de estos.

Finalmente, el sistema estructura la lógica de envío de notificaciones preventivas. Esta lógica es prácticamente igual para todos los dominios, utilizándose la misma lógica realizada en este trabajo, es decir, para distintos niveles de gravedad, será requerida una confirmación de la alerta generada.

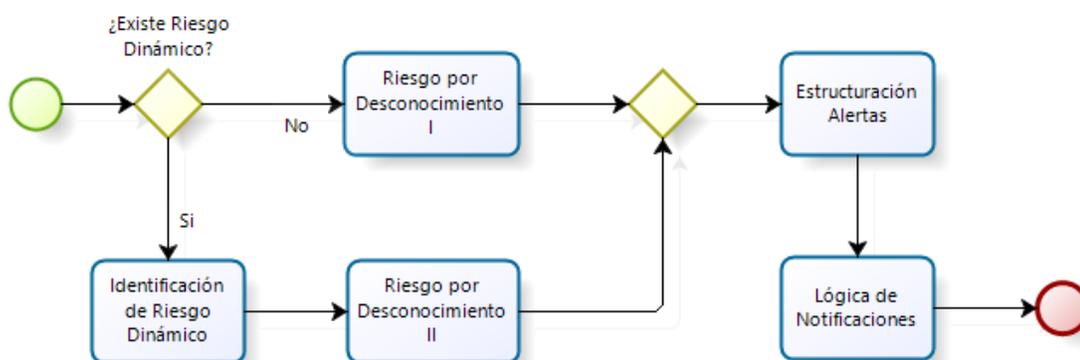


Ilustración 84: Lógica Genérica Generación de Alertas Preventivas (Elaboración propia)

15.3. Diagrama de Clases del *Framework*

El diagrama de clases del *framework* define los objetos genéricos que deben estar presentes en cualquier solución de monitoreo remoto de pacientes utilizando modelos inteligentes, basados en la utilización de datos hospitalarios. Estos objetos corresponden a clases que son clasificables en tres tipos:

1. Clases *Entities*: Interactúan directamente con la base de datos, capturando y retornando la información solicitada por la aplicación. Las clases del framework correspondientes este tipo son: *Entrenamiento*, *Validación*, *Simulación*, *Etiquetado Riesgo* y *Segmentar*.
2. Clases *Modelo*: Clases que procesan lógica compleja de negocios en la aplicación. Las clases tipo modelo son: *Comportamiento Indicadores* y *Resultados Modelo*.
3. Clases *Controladoras*: Coordinan al resto de las clases, realizando solicitudes de información y redirigiendo las distintas peticiones por parte del usuario. Las clases controladoras son las siguientes: *Datos*, *Caracterización del Modelo*, *Estructurar Riesgo* y *Alertas*.

En la ilustración 85 se aprecia un esquema general del diagrama de clases del *framework* de generalización, en donde se muestra la interacción entre todas las clases que lo componen.

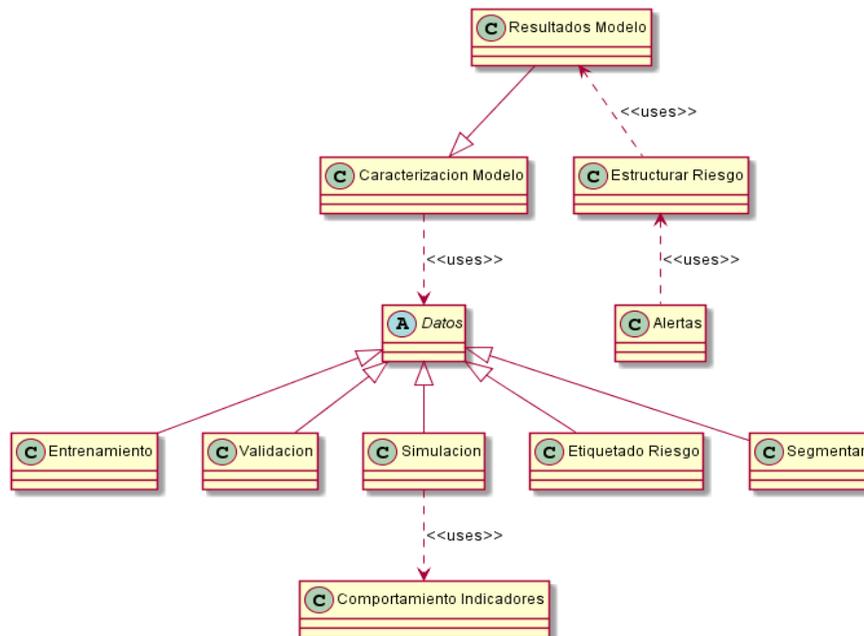


Ilustración 85: Diagrama de Clases Framework Generalización (Elaboración propia)

16. Conclusiones

16.1. Procesos de Monitoreo Remoto

El monitoreo remoto de pacientes ha sido ampliamente estudiado, en donde existe un amplio rango de propuestas para establecer mecanismos efectivos de control remoto de la salud de los pacientes. A pesar de lo anterior, existe aún mucho trabajo por realizar, ya que muchos de los sistemas actuales se enfocan solo en la transmisión de los datos, y no en el mecanismo inteligente detrás de él.

Es muy común ver como variables como signos vitales, saturación de oxígeno, y otras variables médicas, son monitoreadas con éxito. Pero existen otras asociadas al contexto del paciente, las cuales no han logrado un avance propiamente tal. Por ejemplo, es conocido que cuando los pacientes lloran, o se encuentran con agitación física, sus indicadores muestran signos de alteración, pero no debido a un deterioro en la condición de salud.

Lo anterior apunta a la debilidad de los sistemas actuales en detectar aquellos elementos que describen el contexto del paciente, y que se piensa pueden ser aún más explicativos de la condición real de salud.

Además de lo anterior, los procesos de monitoreo remoto de salud no consideran como variable fundamental la latente probabilidad de no contar con la información que se quiere transmitir, por una serie de factores externos. Con esto en cuenta, los sistemas deben tomar decisiones con sólo una parte de la información que se intenta monitorear. Este aspecto prácticamente no ha sido tratado en la literatura actual, y el trabajo propuesto intenta establecer los lineamientos iniciales para considerar este efecto dentro del mecanismo preventivo.

En conjunto con esto, se cree que el trabajo propuesto actualmente genera una contribución para la definición de reglas claras, en coordinación con aquellos mecanismos inteligentes de predicción, para poder llevar a la práctica un efectivo control preventivo de salud.

16.2. Algoritmos de Predicción

Considerar el uso de algoritmos inteligentes es clave para el monitoreo remoto de la condición de salud del paciente. Muchos de los trabajos actuales se basan exclusivamente en los rangos indicados por la literatura médica, y como fue visto en este trabajo, esta forma de generar alertas es altamente probable que genere muchas falsas alarmas, haciendo del sistema preventivo algo totalmente infactible y que no podría implementarse.

Uno de los principales obstáculos para la realización de estos modelos es contar con datos adecuados. Actualmente, es sumamente difícil contar con datos históricos transmitidos desde los domicilios por una serie de razones. En primer lugar, esto es un proceso costoso para el sistema de salud, y requiere de períodos largos de marcha blanca para generar una transmisión correcta de los datos. En segundo lugar, se requiere de una cantidad gigantesca de datos para la realización de modelos predictivos, ya que la frecuencia con que los pacientes sufren crisis de alta gravedad no suele ser alta, por lo que se requerirían años de datos, y en una cantidad considerable de pacientes para generar patrones estadísticamente válidos y generalizables en diferentes segmentos poblacionales.

Teniendo en cuenta lo anterior, es que la propuesta establecida en el presente trabajo se considera novedosa, realista, y factible de predecir crisis. Los resultados muestran que el modelo propuesto genera patrones generalizables, y al estar fundado sobre el conocimiento experto de médicos, es que su implementación y uso rutinario resulta mucho más familiar, por lo tanto, presenta una mayor facilidad de entendimiento que otros modelos convencionales.

El criterio experto de los médicos el momento de diagnosticar enfermedades se considera clave para detectar posibles anomalías de salud. Una propuesta que estructura en reglas concretas el conocimiento experto, capaz de predecir potenciales signos de descompensación, se estima que puede ser una base inicial muy potente para la generación de modelos híbridos en la predicción del riesgo de crisis en pacientes con enfermedades crónicas.

16.3. Trabajo Futuro

Aún quedan muchos desafíos por resolver en el campo del monitoreo remoto de pacientes. Muchos de los sistemas diseñados no presentan una documentación clara de los procesos, por lo que un enfoque de Ingeniería de Negocios puede lograr un aporte significativo con el objetivo de implementar las mejores prácticas en el diseño de soluciones novedosas en las organizaciones.

Por otro lado, en relación a las variables a considerar para un efectivo monitoreo remoto, se considera crítico considerar el contexto en el cual se encuentra el paciente para la generación de modelos de predicción más precisos. La dificultad de lo anterior radica en crear un diseño factible para la transmisión de datos asociada al contexto del paciente. Por ejemplo, se hace inviable considerar que un cuidador del paciente este en contacto con él en todo momento para detectar estas situaciones, e ingresarlas en un formulario web. Una lógica adecuada en este aspecto no fue abordada con mayor profundidad, pero se estima crucial considerar este diseño para una transmisión adecuada de datos asociados al contexto físico y del ambiente en el cual se encuentra el paciente.

Además de lo anterior, existe un aspecto no menor relacionado con el desajuste de los modelos en el tiempo. Si bien el modelo diseñado se adapta muy bien al criterio utilizado por el médico experto al momento de diagnosticar, el comportamiento de los pacientes podría cambiar en el tiempo, haciendo que este criterio deba re-calibrarse. Lo anterior podría automatizarse mediante una lógica compleja que considere parámetros de ingreso como los indicadores referenciales, y métricas asociadas al comportamiento variable que puede tener cada indicador.

De acuerdo a los objetivos planteados en este trabajo, uno de los puntos clave a abordar tiene relación con probar el sistema con datos reales de pacientes en sus domicilios, transmitiéndolos a través de sensores. Si bien eso no fue realizado en un plan piloto, es importante validarlo en el futuro, lo cual demostraría que lo propuesto en este trabajo es aplicable y factible de realizar, usando todos aquellos apoyos tecnológicos evaluados. Esto comprobará de manera real el grado de compromiso de todos los actores involucrados en el proceso, como estos responden ante alertas generadas, el tiempo de respuesta ante crisis de carácter grave y el grado de precisión real del modelo basado en datos del domicilio.

Por último, se estima que los modelos y procesos preventivos diseñados en este trabajo podrían fácilmente ser extendidos a otro tipo de patologías, por lo tanto, un próximo paso podría considerar una lógica en una capa superficial que considere como input una clasificación de las patologías, adaptando los modelos inteligentes a la clasificación correspondiente. Sin embargo, es posible que estas distintas clasificaciones consideren variables a monitorear muy disimiles unas con otras, pudiendo generar una complejidad muy alta en el diseño del modelo.

Bibliografía

- [1] «Subsecretaría de Previsión Social,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.previsionsocial.gob.cl/>.
- [2] Colegio Médico de Chile, «El Sistema de Salud Chileno, Contexto Histórico y Normativo del Sistema de Salud Chileno.,» Santiago, Chile.
- [3] «Servicio de Salud Metropolitano Sur,» [En línea]. Available: <http://ssmetropolitanosur.redsalud.gob.cl/>.
- [4] «Departamento de Estadísticas e Información de Salud,» [En línea]. Available: www.deis.cl.
- [5] Colegio Médico de Chile, «Análisis de Estudios del País: Camas Hospitalarias.,» Santiago, Chile.
- [6] N. Donoso Velenzuela, M. E. Díaz Simpson, J. C. Peralta, C. López Echeverría y S. Garrido Vera, «Medición Nacional de Satisfacción Usuaría en la Red Pública de Salud de Chile,» Santiago, Chile, 2009.
- [7] «Protocolos Asistencia Ventilatoria Invasiva y No Invasiva,» Santiago, Chile, 2013.
- [8] I. Sánchez D., A. Valenzuela S., P. Bertrand N., C. Alvarez G., N. L. Holmgren P., S. Vilches J., C. Jerez T. y R. Ronco M., «Apoyo ventilatorio domiciliario en niños con insuficiencia respiratoria crónica. Experiencia clínica,» *Revista Chilena de Pediatría*, vol. 73, nº 1, 2002.
- [9] J. Holroyd y D. Guthrie, «Family stress with chronic childhood illness: Cystic fibrosis, neuromuscular disease, and renal disease,» *Journal of Clinical Psychology*, vol. 42, pp. 552-561, 1986.
- [10] «World Health Organization,» [En línea]. Available: <http://www.who.int/>.
- [11] «INE,» [En línea]. Available: <http://www.ine.cl/>. [Último acceso: 24 12 2014].
- [12] Barros, Oscar, Diseño Integrado de Negocios, Procesos y Aplicaciones TI - 1ra Parte, Santiago: Universidad de Chile, 2009.
- [13] O. Barros, Ingeniería de Negocios: Diseño Integrado de Negocios, Procesos y Aplicaciones TI. Quinta Parte., Santiago: Universidad de Chile, 2010.
- [14] A. Hax, «The Delta Model: Reinventing your Business Strategy,» *Springer*, 2010.
- [15] M. Johnson, C. C y K. H., «Reinventing your Business Model,» *Harvard Business Review*, 2008.
- [16] O. Barros y C. Julio, «Enterprise and Process Architecture Patterns,» *BPTrends*, pp. 1-15, 2010.
- [17] «IDEF0,» [En línea]. Available: <http://www.idef.com/>.
- [18] «Object Management Group Business Process Model and Notation,» [En línea]. Available: <http://www.bpmn.org>.

- [19] O. Maimon y L. Rokach, «Data Mining and Knowledge Discovery Handbook,» *Springer*, 2010.
- [20] U. Fayyad, G. Piatetsky-Shapiro y P. Smyth, «From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases,» *American Association for Artificial Intelligence*, pp. 37-54, 1996.
- [21] Fuzzy control programming., Technical report, International Electrotechnical Commission, 1997.
- [22] P. Bianco, R. Kotermanski y P. Merson, Evaluating a Service - Oriented Architecture, Software Engineering Institute. Carnegie Mellon, 2007.
- [23] K. Channabasavaiah, K. Holley, IBM Global Services, E. M. Tuggle y IBM Software Group, On Demand Operating Environment Solutions: Migrating to a Service Oriented-Architecture, White Paper, 2004.
- [24] National Instruments, LabView Web Builder Overview, 2010.
- [25] Litan RE, Vital Signs Via Broadband: Remote Health Monitoring Transmits Savings, Enhances Lives.
- [26] J. E. Epping-Jordan, R. Bengoa y D. Yach, «Chronic conditions - the new health challenge,» *South African Med*, vol. 93, nº 8, pp. 585-590, 2003.
- [27] V. Nangalia, D. Prytherch y G. Smith, Health technology assessment review: Remote monitoring of vital signs - current status and future challenges, *Critical Care*, 2010.
- [28] S. Jeong, C.-H. Youn, E. Bo Shim, M. Kim, Y. Min Cho y L. Peng, «An Integrated Healthcare System for Personalized Chronic Disease Care in Home - Hospital Environments,» *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 16, nº 4, 2012.
- [29] A. Shaikh y M. Memon, «The Role of Service Oriented Architecture in Telemedicine Healthcare System,» de *International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems*, 2009.
- [30] H. Uwe, Pervasive Computing: The Mobile World, Springer, 2003.
- [31] F. Kart, G. Miao, L. E. Moser y P. M. Melliar-Smith, «A Distributed e-Healthcare System Based on the Service Oriented Architecture,» de *IEEE International Conference on Services Computing*, 2007.
- [32] F. Paganelli y D. Giuli, «An Ontology-Based System for Context-Aware and Configurable Services to Support Home-Based Continuous Care,» *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 15, nº 2, 2011.
- [33] A. A. Benyahia, A. Hajjam, V. Hilaire y M. Hajjam, «Ontological Architecture for Management of Telemonitoring System and Alerts Detection,» *INTECH*, 2012.
- [34] J. Emanuele y L. Joetter, «Workflow opportunities and challenges in healthcare,» de *Siemens Medical Solutions*, USA, 2006.
- [35] J. Dang, A. Hedayati, K. Hampel y C. Toklu, «An ontological knowledge framework for adaptive medical workflow,» *Journal of Biomedical Informatics*, 2008.

- [36] D. Han, M. Lee y S. Park, «THE-MUSS: Mobile u-health service system,» *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2009.
- [37] F. Shann, G. Pearson, A. Slater y K. Wilkinson, «Paediatric index of mortality (PIM): a mortality prediction model for children in intensive care,» *NEONATAL AND PEDIATRIC INTENSIVE CARE*, 1996.
- [38] S. Leteurtre, A. Martinot, A. Duhamel, F. Gauvin, B. Grandbastien, T. V. Nam, F. Proulx, J. Lacroix y F. Leclerc, «Development of a Pediatric Multiple Organ Dysfunction Score: Use of Two Strategies,» *Medical Decision Making*, 1999.
- [39] C. P. Bonafide, P. W. Brady, R. Keren, P. H. Conway, K. Marsolo y C. Daymont, «Development of Heart and Respiratory Rate Percentile Curves for Hospitalized Children,» *PEDIATRICS*, 2013.
- [40] L. Tarassenko, D. Clifton, M. Pinsky, M. Hravnak, J. Woods y P. Watkinson, «Centile-based early warning scores derived from statistical distributions of vital signs,» *ELSEVIER: Resuscitation*, 2011.
- [41] «Ministerio de Salud,» [En línea]. Available: <http://web.minsal.cl/>.
- [42] «Hospital Exequiel González Cortés,» [En línea]. Available: www.hegc.cl. [Último acceso: 2014].
- [43] O. Barros y C. Julio, «Application of Enterprise and Process Architecture Patterns in Hospitals,» *BPTrends*, 2010.
- [44] E. Paris Mancilla, I. Sánchez, D. Beltramino y A. Copto García, Meneghello. *Pediatría*, 6ta Edición, 2013.
- [45] CapaBlanca Ltda., «ESTUDIO DE ACTUALIZACION DEL MODELO DE ESTIMACION DE LA TASA SOCIAL DE DESCUENTO EN EL MARCO DEL SISTEMA NACIONAL DE INVERSIONES DE CHILE,» Santiago, 2013.
- [46] O. Barros, «Business Process Patterns and Frameworks: Reusing Knowledge in Process Innovation,» DII, Universidad de Chile, Santiago, 2004.
- [47] P. Pawar, V. Jones, B. J. Van Beijnum y H. Hermens, «A framework for the comparison of mobile patient monitoring systems, *Journal of Biomedical Informatics*,» *Elsevier*, pp. 544-56, 2012.
- [48] [En línea]. Available: <http://www.bpmb.de>.

Anexos

Anexo A: Notación BPMN para Modelamiento de Procesos

En la ilustración 86 se aprecia la notación para diagramar actividades en notación BPMN. Las principales actividades corresponden a tareas generadas por actores del proceso.

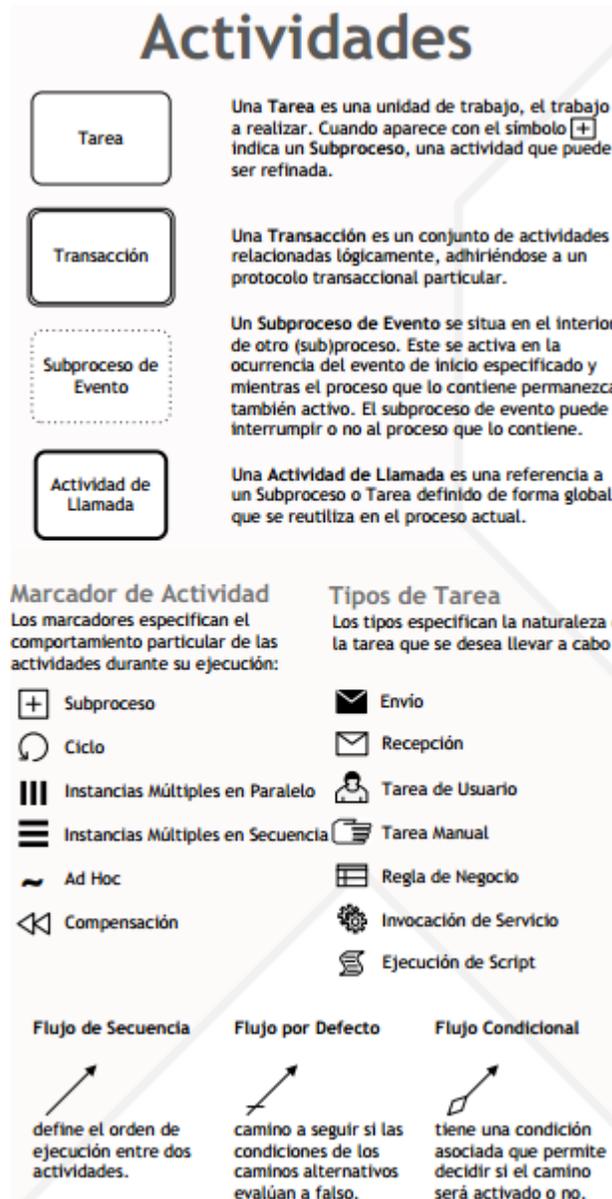


Ilustración 86: Actividades Notación BPMN
Fuente: Poster BPMN [48]

En la ilustración 87 se aprecia la definición de las compuertas utilizadas en notación BPMN. Estas funcionan como punto de bifurcación, o bien direccionan la ocurrencia de ciertos eventos.



Ilustración 87: Compuertas en Notación BPMN
Fuente: Poster BPMN [48]

En la ilustración 88 se pueden ver los distintos contenedores de BPMN. Estos representan a las entidades responsables de las actividades en un proceso.



Ilustración 88: Contenedores Notación BPMN
Fuente: Poster BPMN [48]

Los eventos son caracterizados en la ilustración 89. Estos eventos pueden incluir la generación de mensajes, eventos temporales, eventos que capturan errores u otras condiciones pre-definidas, entre otros.

Eventos

	Inicio			Intermedios			Fin
	Alto Nivel	Evento Interruptor de Subproceso	Evento No Interruptor de Subproceso	Captura	Adjunto Interruptor	Adjunto No Interruptor	Lanzamiento
Simple: Eventos sin especificar. Indican puntos de inicio, de fin y situaciones intermedias.							
Mensaje: Recepción y envío de mensajes.							
Temporal: Puntos en el tiempo, lapsos, límites (timeouts). Pueden ser eventos únicos o cíclicos.							
Escalable: Cambio a un nivel mas alto de responsabilidad.							
Condicional: Reacción a cambios en las condiciones de negocios o integración de reglas de negocio.							
Enlace: Conectores fuera de página. Dos conectores de enlace equivalen a un flujo de secuencia.							
Error: Captura y lanzamiento de errores conocidos con nombre.							
Cancelación: Reacción a la cancelación de una transacción/ Solicitud de cancelación.							
Compensación: Manejo/ Solicitud de compensación.							
Señal: Intercambio de señales entre procesos. Una señal puede ser capturada varias veces.							
Múltiple: Captura uno de un conjunto de eventos. Lanza todos los eventos definidos.							
Paralela Múltiple: Captura todos los eventos de un conjunto de eventos en paralelo.							
Terminación: Terminación inmediata del proceso.							

Ilustración 89: Eventos Notación BPMN
Fuente: Poster BPMN [48]

Anexo B: Algoritmo Modelo IA

Este apartado explica en detalle el código R utilizado para la generación del modelo predictivo IA propuesto en este trabajo.

```
#variable grupo_etario debe definirse
#variable cr debe definirse (si paciente es crónico respiratorio)
#matriz simF_vars debe definirse, es la matriz con los datos

#-----parametros min y max para cada variable-----
#---t---
max_t <- 37.8
min_t <- 35.8

#---fc---
#grupo1: 0-3 meses; grupo2: 3-6 meses; grupo3: 6 meses-2 años; grupo4: 2-10
años; grupo5: >10 años
if(grupo_etario == 1){
  min_fc <- 85
  max_fc <- 195
}
else {
  if(grupo_etario == 2){
    min_fc <- 80
    max_fc <- 160
  }
  else {
    if (grupo_etario ==3){
      min_fc <- 60
      max_fc <- 150
    }
    else {
      if (grupo_etario == 4){
        min_fc <- 60
        max_fc <- 140
      }
      else {
        min_fc <- 60
        max_fc <- 100
      }
    }
  }
}
}
```

```

#---fr---
#grupo1: 0-6 meses; grupo2: 6 meses-1 año; grupo3: 1-2 años; grupo4: 2-5 años;
grupo5: 5-12 años; grupo6: >12 años
if(grupo_etario == 1){
  min_fr <- 40
  max_fr <- 60
}
else {
  if(grupo_etario == 2){
    min_fr <- 30
    max_fr <- 50
  }
  else {
    if (grupo_etario ==3){
      min_fr <- 25
      max_fr <- 35
    }
    else {
      if (grupo_etario == 4){
        min_fr <- 25
        max_fr <- 30
      }
      else {
        if (grupo_etario == 5){
          min_fr <- 18
          max_fr <- 30
        }
        else {
          min_fr <- 60
          max_fr <- 100
        }
      }
    }
  }
}

```

```

#-----funciones de pertenencia t, fc, fr-----

```

```

trap_func <- function(x,a,b,c,d){ifelse(x<a | x > d,0, ifelse(x>=a & x<b, (x-
a)/(b-a), ifelse(x>=b & x<c,1, (d-x)/(d-c))))}
r_func <- function(x,c,d){ifelse(x<c,1,ifelse(x>d,0, (d-x)/(d-c)))}
l_func <- function(x,a,b){ifelse(x<a,0,ifelse(x>b,1, (x-a)/(b-a)))}
l_gaussian <- function(x,m,k){ifelse(x>m,1, 1/exp((x-m)^2/(2*k^2)))}
r_gaussian <- function(x,m,k){ifelse(x<m,1, 1/exp((x-m)^2/(2*k^2)))}

```

```

#funcion de riesgo para sat
sat_func <- function(x,a){ifelse(x>a,1,0)}

#-----flexibilidad-----
flex_min_t <- 0.3 #valor absoluto
flex_max_t <- 0.4 #valor absoluto
flex_min_fc <- 0.13 #%
flex_max_fc <- 0.08 #%
flex_min_fr <- 0.2 #%
flex_max_fr <- 0.12 #%

#-----parametros fuzzy-----
a_t = min_t - flex_min_t
b_t = min_t + flex_min_t
c_t = max_t - flex_max_t
d_t = max_t + flex_max_t

a_fc = min_fc * (1 - flex_min_fc)
b_fc = min_fc * (1 + flex_min_fc)
c_fc = max_fc * (1 - flex_max_fc)
d_fc = max_fc * (1 + flex_max_fc)

a_fr = min_fr * (1 - flex_min_fr)
b_fr = min_fr * (1 + flex_min_fr)
c_fr = max_fr * (1 - flex_max_fr)
d_fr = max_fr * (1 + flex_max_fr)

#-----funciones de puntajes fuzzy para t, fc y fr-----
p1_fuz_t <- function(x,p){ifelse(as.data.frame(trap_func(x,a_t,b_t,c_t,d_t)) <
p,1,0)}
#puntaje 2: fc alta, fr alta, sat 90-93
p2_fuz_fc <- function(x,p){ifelse(as.data.frame(l_func(x,c_fc,d_fc)) >p,2,0)}
p2_fuz_fr <- function(x,p){ifelse(as.data.frame(l_func(x,c_fr,d_fr)) >p,2,0)}
p2_sat <- function(x,min,max){ifelse(x>=min & x <= max,2,0)}
#puntaje 3: fc baja; fr baja
p3_fuz_fc <- function(x,p){ifelse(as.data.frame(r_func(x,a_fc,b_fc)) >p,3,0)}
p3_fuz_fr <- function(x,p){ifelse(as.data.frame(r_func(x,a_fr,b_fr)) >p,3,0)}

#-----puntajes para sat-----
p2_sat <- function(x,min,max){ifelse(x>=min & x <= max,2,0)}
#puntaje 4: sat no cronicos
p4_sat <- function(x,min,max){ifelse(x >= min & x<= max, 4,0)}
#puntaje 6: sat baja
p6_sat <- function(x,min){ifelse(x<min,6,0)}

```

```

#-----parametros probabilidades---
#prob. t estado normal sea menor a p_norm (cuando otros indicadores estan
normales)
p_norm_t <- 0.3
#prob. t alterada sea menor a p_risk (cuando existe otro indicador alterado)
p_risk_t <- 0.7
#prob fc o fr alterada (cuando resto indicadores normales) sea mayor a
p_norm_fc_fr
p_norm_fc_fr <- 0.7
#prob fc o fr alterada (cuando resto indicadores estan alterados) sea mayor a
p_risk_fc_fr
p_risk_fc_fr <- 0.3

#-----puntaje global-----
pr_fuzzy <- ifelse(sum(trap_func(simF_vars$fc[i],a_fc,b_fc,c_fc,d_fc),
trap_func(simF_vars$fr[i],a_fr,b_fr,c_fr,d_fr),
ifelse(cr==1,sat_func(simF_vars$sat[i],94),sat_func(simF_vars$sat[i],95))) ==
3, p1_fuz_t(simF_vars$t[i],p_norm_t), p1_fuz_t(simF_vars$t[i],p_risk_t) ) +
        ifelse(sum(trap_func(simF_vars$t[i],a_t,b_t,c_t,d_t),
trap_func(simF_vars$fr[i],a_fr,b_fr,c_fr,d_fr),
ifelse(cr==1,sat_func(simF_vars$sat[i],94),sat_func(simF_vars$sat[i],95))) ==
3, p2_fuz_fc(simF_vars$fc[i],p_norm_fc_fr)+
p3_fuz_fc(simF_vars$fc[i],p_norm_fc_fr) ,
p2_fuz_fc(simF_vars$fc[i],p_risk_fc_fr)+p3_fuz_fc(simF_vars$fc[i],p_risk_fc_fr
) ) +
        ifelse(sum(trap_func(simF_vars$fc[i],a_fc,b_fc,c_fc,d_fc),
trap_func(simF_vars$t[i],a_t,b_t,c_t,d_t),
ifelse(cr==1,sat_func(simF_vars$sat[i],94),sat_func(simF_vars$sat[i],95))) ==
3, p2_fuz_fr(simF_vars$fr[i],p_norm_fc_fr) +
p3_fuz_fr(simF_vars$fr[i],p_norm_fc_fr) ,
p2_fuz_fr(simF_vars$fr[i],p_risk_fc_fr)+p3_fuz_fr(simF_vars$fr[i],p_risk_fc_fr
) ) +
        ifelse(cr==1, p2_sat(simF_vars$sat[i],90,93),
p2_sat(simF_vars$sat[i],94,95))+
        ifelse(cr==0, p4_sat(simF_vars$sat[i],90,93), 0)
        p6_sat(simF_vars$sat[i],90)

#----nivel de riesgo final-----
nr_fuzzy <- ifelse(pr_fuzzy >= 6,4, ifelse(pr_fuzzy < 6 & pr_fuzzy >=
4,3,ifelse(pr_fuzzy < 4 & pr_fuzzy >=2,2,1)))

```

Anexo C: Algoritmo de Simulación de Variables

A continuación se muestra en detalle el código en R utilizado para la simulación de variables.

```
#-----ruta al archivo con datos originales-----
c = read.csv("C:/Users/m.echeverria/Desktop/Ingenieria - MBE/2014 Sem
1/Proyecto de Grado/Modelos Analitica/datos_pacientes_grupos_etarios.csv",
header = TRUE, sep = ";")

#leemos para cada grupo etario
for (i in 1:4){
  grupo_etario_i <-subset(c, grupo_etario==i)
  svgs_grupo_i = as.data.table(grupo_etario_i)[,6:11, with = FALSE]
  svgs_grupo_i = as.data.frame(svgs_grupo_i)
  is.na(svgs_grupo_i) = svgs_grupo_i < 0
  corr <- cor(svgs_grupo_i, use="pairwise.complete.obs")
  cov <- cov(svgs_grupo_i, use="pairwise.complete.obs")

#descomposicion de choleski
  U = t(chol(corr))
  nvars = dim(U)[1]
  numobs = 4000
  set.seed(1)
  is.na(grupo_etario_i) = grupo_etario_i < 0

#establecemos la media y ds para cada variable
  t_mean = 36.7 # (36 - 37.5)
  t_sd = 1.0
  #FC: (0-1m: 80-160, 1m-6m: 80-140, 6m-2a: 80-120, >2a: 60-120)
  fc_mean = 120 - (i-1)*10
  if(i<=3) fc_sd <- 50 - i*10 else fc_sd <- 30
  #FR: (<6m: 40-60, >6m: 30-50)
  if(i<=2) fr_mean <- 50 else fr_mean <- 40
  fr_sd = 10
  sat_mean = 97
  sat_sd = 4
  pa_mean = 70
  pa_sd = 20
  #registros considerando paciente durmiendo/desperto
  dia_noche_mean = 0.5
  dia_noche_sd = 0.1

#generamos la matriz con datos simulados
```

```

random.normal = matrix (rnorm(nvars*numobs,0,1),nrow=nvars, ncol=numobs)
X = U %*% random.normal
newX = t(X)
raw = as.data.frame(newX)

#aplicamos la inversa a las variables para que no queden entre 0 y 1,
asumiendo dist. normal
t_sim <- raw["t"]*t_sd+t_mean
fc_sim <- raw["fc"]*fc_sd+fc_mean
fr_sim <- raw["fr"]*fr_sd+fr_mean
sat_sim <- raw["sat"]*sat_sd+sat_mean
pa_sim <- raw["pa_me"]*pa_sd+pa_mean
dia_noche_sim <- raw["dia_noche"]*dia_noche_sd + dia_noche_mean

#funcion f que delimita los maximos y minimos posibles para las variables
f <- function(x,a,b) { ifelse((x>a & x <b),0,1) }
z <- function(a,b,c,d,e) { ifelse( (a==0 & b==0 & c==0 & d==0 & e==0),0,1 )
}

#FC: (0-1m: 80-160, 1m-6m: 80-140, 6m-2a: 80-120, >2a: 60-120)
#(<6m: 40-60, >6m: 30-50)

t_test = as.data.frame(f(t_sim, 35.5, 38.5))
fc_test = as.data.frame(f(fc_sim, fc_mean - fc_sd - 10, fc_mean + fc_sd
+ 15))
fr_test = as.data.frame(f(fr_sim, fr_mean - fr_sd - 10, fr_mean + fr_sd
+ 10))
sat_test = as.data.frame(f(sat_sim, 90, 100))
pa_test = as.data.frame(f(pa_sim, 40, 105))

names(t_test) = c("t_test")
names(fc_test) = c("fc_test")
names(fr_test) = c("fr_test")
names(sat_test) = c("sat_test")
names(pa_test) = c("pa_test")
i = as.data.frame(i)
names(i) = c("grupo_etario")

sim_vars <- cbind (t_sim, round(fc_sim), round(fr_sim), round(sat_sim),
round(pa_sim), round(dia_noche_sim))
cr <- data.frame(sample(0:1, dim(sim_vars)[1], replace=TRUE))
names(cr) = c("cronico_resp")
sim1_vars <- cbind (sim_vars, i, cr, t_test, fc_test, fr_test, sat_test,
pa_test)
sim2_vars <- cbind(sim1_vars, z(t_test, fc_test, fr_test, sat_test, pa_test))

```

```

sim3_vars <- subset(sim2_vars, sim2_vars[14] ==0)
  if(i==1) sim3_vars_1 <- sim3_vars
  else if(i==2) sim3_vars_2 <- sim3_vars
  else if(i==3) sim3_vars_3 <- sim3_vars
  else sim3_vars_4 <- sim3_vars
}

simF_vars <- rbind(sim3_vars_1, sim3_vars_2, sim3_vars_3, sim3_vars_4)

sum(sim2_vars[7])
sum(sim2_vars[8])
sum(sim2_vars[9])
sum(sim2_vars[10])
sum(sim2_vars[11])
sum(sim2_vars[12])

cor(sim_vars)
cor(raw)
orig.raw = as.data.frame(t(random.normal))
#names(raw) = c("response", "predictor1", "predictor2")
cor(raw)
plot(head(raw, 100))

#ruta a archivo que escribe datos simulados
write.table(simF_vars, file="C:/Users/m.echeverria/Desktop/R
Workspace/stats/simulation.csv", sep=";")

```

Anexo D: Modelos Logit y Árbol de Decisión Generados

Anexo D.1. Modelos Logit y Árbol de Decisión para Dos Niveles de Riesgo

- **Logit**

$$\text{logit} = -1,117 + 0,352 * \text{Edad Meses} + 0,469 * \text{Temperatura} + 1,137 * \text{Frec. Cardíaca} \\ + 0,203 * \text{Frec. Respiratoria} - 0,376 * \text{Saturación}$$

$$\text{Riesgo} = 1/(1 + e^{-\text{logit}})$$

- **Árbol de Decisión**

```
fc > 141.500
|  t > 37.900
|  |  meses > 93.767
|  |  |  meses > 112.333: 0.0
|  |  |  meses ≤ 112.333: 1.0
|  |  |  meses ≤ 93.767: 1.0
|  |  t ≤ 37.900
|  |  |  sat > 93.500
|  |  |  |  fr > 55: 1.0
|  |  |  |  fr ≤ 55: 0.0
|  |  |  sat ≤ 93.500: 1.0
fc ≤ 141.500
|  t > 37.950
|  |  fc > 129.500
|  |  |  meses > 83.533: 0.0
|  |  |  meses ≤ 83.533: 1.0
|  |  |  fc ≤ 129.500
|  |  |  |  fc > 118.500: 0.0
|  |  |  |  fc ≤ 118.500: 1.0
|  |  t ≤ 37.950
|  |  |  sat > 94.500
|  |  |  |  meses > 0.933: 0.0
|  |  |  |  meses ≤ 0.933: 1.0
|  |  |  sat ≤ 94.500
|  |  |  |  t > 35.950: 1.0
|  |  |  |  t ≤ 35.950: 0.0
```

Notación:

- fc: Frecuencia Cardíaca
- fr: Frecuencia Respiratoria
- t: Temperatura
- sat: Saturación
- meses: Edad en Meses
- 1.0: Estado Riesgoso

Anexo D.2. Modelo Árbol de Decisión para Tres Niveles de Riesgo

```
fc > 140.500
|  fr > 49.500
|  |  fc > 158
|  |  |  meses > 2.733: C2
|  |  |  meses ≤ 2.733: C3
|  |  fc ≤ 158
|  |  |  meses > 3.117: C3
|  |  |  meses ≤ 3.117: Estable
|  fr ≤ 49.500
|  |  meses > 24.767
|  |  |  sat > 91: C3
|  |  |  sat ≤ 91: C2
|  |  meses ≤ 24.767
|  |  |  t > 38.600: C2
|  |  |  t ≤ 38.600: Estable
fc ≤ 140.500
|  t > 37.950
|  |  fc > 129.500
|  |  |  meses > 15.217: C3
|  |  |  meses ≤ 15.217: C2
|  |  fc ≤ 129.500: Estable
|  t ≤ 37.950
|  |  sat > 94.500
|  |  |  meses > 0.933: Estable
|  |  |  meses ≤ 0.933: C3
|  |  sat ≤ 94.500
|  |  |  fr > 37.500: C3
|  |  |  fr ≤ 37.500: Estable
```

Anexo E: Resultados Modelos Predictivos por Grupo Etario

A continuación se muestran los resultados de precisión y sensibilidad para los modelos *logit* y árbol de decisión segmentados por grupo etario considerando dos niveles de riesgo.

Logit 2 Niveles		Predicción – Riesgo Alto	Predicción – Sin Riesgo	Promedio
0-6 meses	Observado - Riesgo Alto	18	17	
	Observado - Estable	12	61	
	Precisión	60,0%	78,2%	69,1%
	Specificity	83,6%	51,4%	67,5%
	Sensitivity	51,4%	83,6%	67,5%
	Accuracy	73,1%	73,1%	73,1%
	F-Measure	55,4%	80,8%	68,1%
6 meses-2 años	Observado - Riesgo Alto	46	24	
	Observado - Estable	13	118	
	Precisión	78,0%	83,1%	80,5%
	Specificity	90,1%	65,7%	77,9%
	Sensitivity	65,7%	90,1%	77,9%
	Accuracy	81,6%	81,6%	81,6%
	F-Measure	71,3%	86,4%	78,9%
2-10 años	Observado - Riesgo Alto	27	41	
	Observado - Estable	3	154	
	Precisión	90,0%	79,0%	84,5%
	Specificity	98,1%	39,7%	68,9%
	Sensitivity	39,7%	98,1%	68,9%
	Accuracy	80,4%	80,4%	80,4%
	F-Measure	55,1%	87,5%	71,3%
> 10 años	Observado - Riesgo Alto	2	8	
	Observado - Estable	0	67	
	Precisión	100,0%	89,3%	94,7%
	Specificity	100,0%	20,0%	60,0%
	Sensitivity	20,0%	100,0%	60,0%
	Accuracy	89,6%	89,6%	89,6%
	F-Measure	33,3%	94,4%	63,8%

Tabla 33: Modelo *Logit* por Grupo Etario - 2 Niveles de Riesgo (Elaboración propia)

Árbol de Decisión 2 Niveles		Predicción - Riesgo Alto	Predicción - Sin Riesgo	Promedio
0-6 meses	Observado - Riesgo Alto	13	22	
	Observado - Sin Riesgo	4	69	
	Precisión	76,5%	75,8%	76,1%
	Specificity	94,5%	37,1%	65,8%
	Sensitivity	37,1%	94,5%	65,8%
	Accuracy	75,9%	75,9%	75,9%
	F-Measure	50,0%	84,1%	67,1%
6 meses-2 años	Observado - Riesgo Alto	24	46	
	Observado - Sin Riesgo	4	128	
	Precisión	85,7%	73,6%	79,6%
	Specificity	97,0%	34,3%	65,6%
	Sensitivity	34,3%	97,0%	65,6%
	Accuracy	75,2%	75,2%	75,2%
	F-Measure	49,0%	83,7%	66,3%
2-10 años	Observado - Riesgo Alto	8	60	
	Observado - Sin Riesgo	10	147	
	Precisión	44,4%	71,0%	57,7%
	Specificity	93,6%	11,8%	52,7%
	Sensitivity	11,8%	93,6%	52,7%
	Accuracy	68,9%	68,9%	68,9%
	F-Measure	18,6%	80,8%	49,7%
> 10 años	Observado - Riesgo Alto	0	10	
	Observado - Sin Riesgo	3	63	
	Precisión	0,0%	86,3%	43,2%
	Specificity	95,5%	0,0%	47,7%
	Sensitivity	0,0%	95,5%	47,7%
	Accuracy	82,9%	82,9%	82,9%
	F-Measure	-	90,6%	90,6%

Tabla 34: Modelo Árbol de Decisión por Grupo Etario - 2 Niveles de Riesgo (Elaboración propia)

En las tablas 34 y 35 se pueden ver los resultados por grupo etario para el modelo IA propuesto y el modelo Árbol de Decisión considerando tres niveles de riesgo.

Modelo IA 3 Niveles		Predicción - Riesgo Alto	Predicción - Riesgo Moderado	Predicción - Sin Riesgo	Promedio
0-6 meses	Observado - Riesgo Alto	2	1	3	
	Observado - Riesgo Moderado	2	7	20	
	Observado - Sin Riesgo	5	12	56	
	Precisión	22,2%	35,0%	70,9%	42,7%
	Specificity	93,1%	83,5%	34,3%	70,3%
	Sensitivity	33,3%	24,1%	76,7%	44,7%
	Accuracy	89,8%	67,6%	63,0%	73,5%
	F-Measure	26,7%	28,6%	73,7%	43,0%
6 meses-2 años	Observado - Riesgo Alto	13	8	1	
	Observado - Riesgo Moderado	10	18	20	
	Observado - Sin Riesgo	2	29	100	
	Precisión	52,0%	32,7%	82,6%	55,8%
	Specificity	93,3%	75,8%	70,0%	79,7%
	Sensitivity	59,1%	37,5%	76,3%	57,6%
	Accuracy	89,6%	66,7%	74,1%	76,8%
	F-Measure	55,3%	35,0%	79,4%	56,5%
2-10 años	Observado - Riesgo Alto	6	0	0	
	Observado - Riesgo Moderado	10	20	32	
	Observado - Sin Riesgo	5	15	137	
	Precisión	28,6%	57,1%	81,1%	55,6%
	Specificity	93,2%	90,8%	52,9%	79,0%
	Sensitivity	100,0%	32,3%	87,3%	73,2%
	Accuracy	93,3%	74,7%	76,9%	81,6%
	F-Measure	44,4%	41,2%	84,0%	56,6%
> 10 años	Observado - Riesgo Alto	0	1	1	
	Observado - Riesgo Moderado	0	3	5	
	Observado - Sin Riesgo	3	18	46	
	Precisión	0,0%	13,6%	88,5%	34,0%
	Specificity	96,0%	72,5%	40,0%	69,5%
	Sensitivity	0,0%	37,5%	68,7%	35,4%
	Accuracy	93,5%	68,8%	64,9%	75,8%
	F-Measure	-	20,0%	77,3%	48,7%

Tabla 35: Modelo IA por Grupo Etario - 3 Niveles de Riesgo (Elaboración propia)

Modelo Árbol de Decisión 3 Niveles		Predicción - Riesgo Alto	Predicción - Riesgo Moderado	Predicción - Sin Riesgo	Promedio
0-6 meses	Observado - Riesgo Alto	3	3	0	
	Observado - Riesgo Moderado	1	11	17	
	Observado - Sin Riesgo	1	2	70	
	Precisión	60,0%	68,8%	80,5%	69,7%
	Specificity	98,0%	93,7%	51,4%	81,0%
	Sensitivity	50,0%	37,9%	95,9%	61,3%
	Accuracy	95,4%	78,7%	81,5%	85,2%
F-Measure	54,5%	48,9%	87,5%	63,6%	
6 meses-2 años	Observado - Riesgo Alto	18	2	2	
	Observado - Riesgo Moderado	2	11	35	
	Observado - Sin Riesgo	1	6	124	
	Precisión	85,7%	57,9%	77,0%	73,5%
	Specificity	98,3%	94,8%	47,1%	80,1%
	Sensitivity	81,8%	22,9%	94,7%	66,5%
	Accuracy	96,5%	77,6%	78,1%	84,1%
F-Measure	83,7%	32,8%	84,9%	67,2%	
2-10 años	Observado - Riesgo Alto	4	2	0	
	Observado - Riesgo Moderado	0	42	20	
	Observado - Sin Riesgo	0	3	154	
	Precisión	100,0%	89,4%	88,5%	92,6%
	Specificity	100,0%	96,9%	70,6%	89,2%
	Sensitivity	66,7%	67,7%	98,1%	77,5%
	Accuracy	99,1%	88,9%	89,8%	92,6%
F-Measure	80,0%	77,1%	93,1%	83,4%	
> 10 años	Observado - Riesgo Alto	0	0	2	
	Observado - Riesgo Moderado	0	2	6	
	Observado - Sin Riesgo	0	0	67	
	Precisión	-	100,0%	89,3%	94,7%
	Specificity	100,0%	100,0%	20,0%	73,3%
	Sensitivity	0,0%	25,0%	100,0%	41,7%
	Accuracy	97,4%	92,2%	89,6%	93,1%
F-Measure	-	40,0%	94,4%	67,2%	

Tabla 36: Modelo Árbol de Decisión por Grupo Etario - 3 Niveles de Riesgo (Elaboración propia)

Anexo F: Encuesta para Usabilidad de Aplicación Móvil

Profesión: _____

La presente pauta tiene como objetivo evaluar la usabilidad de una aplicación móvil utilizada por profesionales de salud en un proceso de monitoreo a distancia en pacientes con enfermedades respiratorias. La evaluación de cada ítem debe realizarse como sigue:

- 1: Totalmente en desacuerdo
- 2: En desacuerdo
- 3: Ni de acuerdo ni desacuerdo
- 4: De acuerdo
- 5: Totalmente de acuerdo

Se debe colocar una "X" en cada ítem en relación al nivel de acuerdo/desacuerdo con la afirmación.

	1	2	3	4	5
1. Encuentro atractivo el software					
2. El software es útil					
3. El software es fácil de usar					
4. El software permite ver datos relevantes del paciente					
5. El software permite generar acciones de manera oportuna					
6. El software permite visualizar de manera correcta la información transmitida					
7. El software genera notificaciones adecuadas en base al riesgo del paciente					
8. Estoy satisfecho con las características del software					
9. El software muestra información valiosa para la toma de decisiones preventivas					

En una escala de 1 a 7, la evaluación general del software es: _____

Comentarios o Sugerencias: