

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**DISMINUCIÓN DE CANTIDAD DE ATRASOS EN ENTREGA DE
INFORMES RADIOLÓGICOS EN EL CENTRO DE
IMAGENOLÓGÍA DEL HOSPITAL CLÍNICO DE LA
UNIVERSIDAD DE CHILE**

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

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL INDUSTRIAL

MACARENA VICTORIA OSORIO ARÉVALO

PROFESOR GUÍA:
ÁNGEL ANTONIO JIMÉNEZ MOLINA

MIEMBROS DE LA COMISION:
SEBASTIÁN ALEJANDRO RÍOS PÉREZ
WILLIAMS BERNARDO ASTUDILLO ENCINA

SANTIAGO DE CHILE
2020

RESUMEN EJECUTIVO

En Chile, el sistema de salud se compone de los sectores público, privado y otros, los cuales representan 77%, 21% y 2% según el DIES (2018), respectivamente. Una de las instituciones que representa al sistema de salud por su marca y reconocimiento es el Hospital Clínico de la Universidad de Chile (HCUCH), el cual entrega tanto servicios clínicos como docentes, destacando su estrategia de mejor servicio y de diferenciación. Específicamente, en el Centro de Imagenología del HCUCH (CI) se destaca el estándar de recepción a los pacientes y entrega de servicios de gran calidad. Uno de los principales servicios del CI es la toma de exámenes y posterior entrega de informes radiológicos. En particular, la entrega de informes radiológicos posee un protocolo de tiempo máximo desde que termina el examen hasta la entrega de este según estado del paciente: 48 horas para pacientes Ambulatorios (A), 24 horas para Hospitalizados (H) y 2 horas para Ambulatorio Urgente (AU).

Del total de exámenes analizados desde 2013 a 2018, correspondiente a 470.000 registros, se encuentra que 30% de ellos poseen informes radiológicos atrasados, siendo 53% AU, 39% A y 8% H, encontrando entonces el problema de cantidad de atrasos en informes radiológicos en el CI. Es por esto, que se comienza la presente tesis, utilizando la metodología de Ingeniería de Negocios y el Nurse Scheduling Problem, algoritmo de asignación de función objetivo múltiple utilizado en el sector de salud, para detectar el mejor rediseño y entregar una solución óptima.

Una de las principales causas de este problema es la estimación de demanda poco clara, lo que deriva en la deficiente distribución de horas de radiólogo, por lo que se propone la creación del macroproceso de Gestión de personal, el cual incluye análisis de demanda, optimización de recursos y generación de turnos, lo cual estará a cargo del Jefe de Unidad de Análisis y Gestión de la Información del CI (JUAGI). El macroproceso es apoyado por un sistema de información para facilitar la toma de decisiones tácticas del JUAGI. Este sistema de información recibe la demanda ingresada por el usuario, la cual es analizada y optimizada mediante el Software Gurobi para luego entregar resultados en pantalla y en un informe en formato .pdf, los cuales incluyen cantidad de horas radiólogo por especialidad y turno, parámetros y supuestos.

Los resultados principales del piloto con data real son que más del 13% en cada unidad de los datos analizados poseen un déficit de horas radiólogo, lo cual contribuye a los atrasos y merma el servicio pulcro que se quiere entregar. Finalmente, se realiza un análisis de Gestión del cambio, en donde se impulsa una comunicación entre diferentes unidades, y una evaluación de proyecto social, la cual indica un beneficio para la sociedad a un horizonte de 6 años, debido a que es un proyecto tecnológico.

DEDICATORIA

A mi papá, mamá y Yayi

AGRADECIMIENTOS

Fue un graaaaaaaan y feliz viaje hacer la tesis. Adivinen ¡¡Ya está terminada!! Aparte de agradecerme a mí jajajaja por todas las horas dedicadas, los viajes, las presentaciones y todo lo que implica, me gustaría agradecer a las personas que me apañaron en el proceso de esta tesis awww :') #SeQuiebra.

Muchas gracias a mi papá por siempre estar presente en mi memoria y corazón, escuchando sus frases clásicas y darme fuerzas en todo momento, por enseñarme a ser fuerte y hacer cosas impulsivas jajajaja, por todo el amor, apañe y por su existencia. Muchas gracias a mi mamá por siempre apañarme, por el ánimo, las comidas ricas, escuchar mis comentarios y opiniones sobre todo, por el cariño y amor incondicional, en definitiva, por existir y apoyarme en todas. Muchas gracias a la Yayi por sus ricos almuerzos (los inolvidables porotos granados), por apoyarme hasta en las cosas más inimaginables (real que sí), por sus risas, su apañe, conversaciones chistosas, por apañarme molestando a la vecina y por existir. Muchas gracias a mi tía Ángeles, por las risas, las conversaciones locas y el apoyo incondicional, las cenas, saber que soy tacaña y los memes o stickers diarios jajaja.

Muchas gracias al Lucho, un clásico, por su apañe en todas mis locuras, en el diseño de mi ppt, por las risas y su amistad de años, los completos gigantes en su casa, las grabaciones de videos chistosos y una interminable lista de tonteras...en definitiva por ser iguales, ser el mejor amigo que me pude encontrar en la vida y mi alma gemela. Mención honrosa a un regalo hecho de chicle (sí, masticado por ti) que me regalaste en primer año #CHICOOS. Muchas gracias a la Coni por su apañe incondicional y emocional. A la Benny por siempre confiar en que me iría bien en lo que se me ocurriera. Al Yoyi, por apañarme cada vez que lo llamaba, su apoyo y por dar el toque misterioso a cada situación y a nuestra gran amistad. A la María Paz por las tardes de piscina, los almuerzos, las risas a distancia, y su gran apoyo. A Welch por dar el toque europeo a mi grupo de amig@s y apañarme en cada chela que era necesaria. A la Naty del banco por siempre apoyarme en mis proyectos y sueños por más locos que fueran. Al Beto por la desconcentración de cada clase de Plan común y por siempre creer en mis proyectos. A Valdivia, por las risas y ponerse feliz cuando le contaba mis logros. A Matt, por enseñarme que llegar tarde...muy muy tarde no está mal. Al Nacho Muñoz, por su apañe en cada tarea y proyecto del Magíster, por hacer de las clases un stand-up comedy, Just stop it!

Muchas gracias a mi profesor guía Ángel Jiménez, por el apoyo en la tesis, sus consejos y feedback, como también a Williams Astudillo, Jefe de la Unidad de Análisis y Gestión del Centro de Imagenología del Hospital Clínico de la Universidad de Chile, por su apoyo con los datos y con la realización de la tesis en general. Agradecer también al profesor Andrés Kettlun, el cual sin conocerme me orientó en la elaboración de la evaluación social de proyectos. Muchas gracias a los profes que me ayudaron en mi carrera como Fernando Ordóñez, Andreas Wiese, Juan Velásquez y Sebastián Ríos, a tod@s mis alumn@s, equipos docentes de los que fui parte (ENEEEEE), pero en especial a Tic's y Optimiza, amig@s de pregrado y postgrado de esta gran época universitaria.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	I
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO	1
1.1 ANTECEDENTES DE LA INDUSTRIA DE LA SALUD.....	1
1.1.1 <i>Salud en Chile</i>	1
1.1.2 <i>Imagenología y Radiología</i>	10
1.2 HOSPITAL CLÍNICO UNIVERSIDAD DE CHILE	13
1.2.1 <i>Centro de Imagenología del Hospital Clínico de la Universidad de Chile</i>	15
1.3 PROBLEMA U OPORTUNIDAD IDENTIFICADA.....	19
1.4 OBJETIVOS Y RESULTADOS ESPERADOS DEL PROYECTO	34
1.4.1 <i>Objetivo General</i>	34
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i>	34
1.4.3 <i>Resultados esperados</i>	34
1.5 ALCANCE	35
1.6 RIESGOS POTENCIALES	36
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	37
2.1 METODOLOGÍA DE INGENIERÍA DE NEGOCIOS.....	37
2.2 LÓGICA DE NEGOCIOS	45
2.2.1 <i>Problema de asignación</i>	45
2.2.2 <i>Estado del arte</i>	49
CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO ESTRATÉGICO Y MODELO DE NEGOCIOS	59
3.1 POSICIONAMIENTO ESTRATÉGICO	59
3.1.1 <i>Misión y Visión</i>	59
3.2 BALANCED SCORECARD	60
3.3 MODELO DE NEGOCIOS.....	62
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS SITUACIÓN ACTUAL	64
4.1 ARQUITECTURA DE PROCESOS.....	64
4.2 MODELAMIENTO DETALLADO DE PROCESOS	68
4.2.1 <i>Gestión de turnos en el CI del HCUCH</i>	68
4.2.2 <i>Creación de informes radiológicos en el HCUCH</i>	69
4.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	72
4.1.1 <i>Análisis estadístico de demanda</i>	73
4.1.2 <i>Pronóstico de demanda</i>	80
4.1.3 <i>Análisis estadístico de tiempos de realización de informe radiológico</i>	93
CAPÍTULO 5: PROPUESTA DE DISEÑO DE PROCESOS	97
5.1 DIRECCIONES DE CAMBIO Y ALCANCE.....	97
5.1.1 <i>Estructura, empresa y mercado</i>	97
5.1.2 <i>Anticipación</i>	97
5.1.3 <i>Prácticas de trabajo</i>	98
5.1.4 <i>Integración de procesos conexos</i>	99
5.1.5 <i>Mantenimiento consolidado de estado</i>	100
5.2 ARQUITECTURA DE PROCESOS TO BE.....	101
5.3 DISEÑO DETALLADO DE PROCESOS TO BE.....	101
5.3.1 <i>Diseño en BPMN</i>	101
5.4 DISEÑO DE LÓGICA DE NEGOCIOS.....	103
CAPÍTULO 6: PROPUESTA DE APOYO TECNOLÓGICO	106

6.1	ESPECIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS.....	106
6.1.1	<i>Requerimientos Funcionales</i>	106
6.1.2	<i>Requerimientos No Funcionales</i>	106
6.2	ARQUITECTURA TECNOLÓGICA.....	108
6.3	DISEÑO DE LA APLICACIÓN.....	109
6.3.1	<i>Casos de Uso</i>	109
6.3.2	<i>Diagramas de Secuencia</i>	112
6.3.3	<i>Diagramas de Clases</i>	113
6.4	PROTOTIPO FUNCIONAL DESARROLLADO	113
CAPÍTULO 7: GESTIÓN DEL CAMBIO.....		118
7.1	CONTEXTO DE LA EMPRESA	118
7.2	OBSERVACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN A REALIZAR	118
7.3	ANÁLISIS DE LOS PRINCIPIOS DE DISEÑO.....	120
7.4	CARACTERIZACIÓN DEL CAMBIO Y FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO	121
7.5	PLAN DE GESTIÓN DEL CAMBIO	125
CAPÍTULO 8: EVALUACIÓN DEL PROYECTO		127
8.1	PLAN PILOTO	127
8.1.1	<i>Definición del Plan Piloto y resultados obtenidos</i>	127
8.2	DEFINICIÓN DE BENEFICIOS Y COSTOS	128
8.3	FLUJO DE CAJA	128
8.4	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	129
CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES.....		131
CAPÍTULO 10: BIBLIOGRAFÍA.....		135
CAPÍTULO 11: ANEXOS.....		141

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Jerarquía de necesidades humanas según Abraham Maslow (1984).	1
Ilustración 2. Distribución de población en el sector de Salud según el DIES (2018).	2
Ilustración 3. Esquema de Salud nacional según sectores público y privado. Elaboración propia.	9
Ilustración 4. Esquema de funcionamiento de sistema de comunicación imagenológica según Astudillo, W. (2017).	12
Ilustración 5. Organigrama Hospital Clínico Universidad de Chile (HCUCH) según Universidad de Chile (2018).	15
Ilustración 6. Cantidad de pacientes por año en el CI del HCUCH. Elaboración propia. Fuente: Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	16
Ilustración 7. Cantidad de pacientes según top 20 comunas de procedencia. Elaboración propia. Fuente: Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	17
Ilustración 8. Segmentación por sexo de pacientes. Elaboración propia. Fuente: Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	18
Ilustración 9. Cantidad de pacientes por rango etario. Elaboración propia. Fuente: Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	18
Ilustración 10. Actividades generales del proceso de toma y diagnóstico de imágenes del CI del HCUCH. Elaboración propia. Fuente: Levantamiento de procesos de la tesista en el CI del HCUCH.	19
Ilustración 11. División de pacientes según estado. Fuente: Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) <i>Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.</i>	20
Ilustración 12. Atenciones por hora según estado del paciente. Elaboración propia. Fuente: Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	20
Ilustración 13. Cantidad de pacientes por día según estado. Elaboración propia. Fuente: Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	21
Ilustración 14. Cantidad de exámenes según tipo. Elaboración propia. Fuente: Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	21
Ilustración 15. Cantidad de exámenes según área. Elaboración propia. Fuente: Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	22
Ilustración 16. Cantidad de exámenes según tipo y área. Elaboración propia. Fuente: Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	23
Ilustración 17. Línea de tiempo general del proceso. Elaboración propia.	24
Ilustración 18. Boxplot de distribución de tiempo entre T3 y T4 con una cota superior de 20 horas. Elaboración propia. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	24
Ilustración 19. Boxplot de distribución de tiempo entre T4 y T5 con una cota superior de 3 horas. Elaboración propia. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	25
Ilustración 20. Boxplot de distribución de tiempo entre T3 y T4 según estado del paciente con una cota superior de 20 horas. Elaboración propia. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	25

Ilustración 21. Boxplot de distribución de tiempo entre T4 y T5 según estado del paciente con una cota superior de 3 horas. Elaboración propia. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	26
Ilustración 22. Boxplot de distribución de tiempo entre T3 y T4 según unidad con una cota superior de 20 horas. Elaboración propia. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	26
Ilustración 23. Boxplot de distribución de tiempo entre T4 y T5 según unidad con una cota superior de 3 horas. Elaboración propia. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.....	27
Ilustración 24. Boxplot de distribución de tiempo entre T3 y T4 según tipo de examen con una cota superior de 20 horas. Elaboración propia. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	27
Ilustración 25. Boxplot de distribución de tiempo entre T4 y T5 según tipo de examen con una cota superior de 3 horas. Elaboración propia. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	28
Ilustración 26. Árbol de problemas “Demora en entrega de informes radiológicos en el Centro de Imagenología del HCUCH”. Elaboración propia. Fuente: Levantamiento de procesos de la tesista en el CI del HCUCH, validado por Jefe de Unidad de Análisis y Gestión de la Información.....	31
Ilustración 27. Árbol How sobre ¿Cómo disminuir la cantidad de atrasos en informes radiológicos en el Centro de imagenología del HCUCH? Elaboración propia. Fuente: Levantamiento de procesos de la tesista en el CI del HCUCH, validado por Jefe de Unidad de Análisis y Gestión de la Información.	32
Ilustración 28. Matriz facilidad de implementación v/s impacto. Elaboración propia. Fuente: Levantamiento de procesos de la tesista en el CI del HCUCH, validado por Jefe de Unidad de Análisis y Gestión de la Información.	33
Ilustración 29. Ontología para Diseño de Negocios según Barros, O. (2015).....	38
Ilustración 30. Metodología Ingeniería de Negocios según Barros, O. (2009).....	40
Ilustración 31. Arquitectura de Macroprocesos según Barros, O. (2009).	42
Ilustración 32. Estructura interna de Macroprocesos según Barros, O. (2015).	43
Ilustración 33. Grafo dirigido G(V,A) de problema genérico de asignación. Elaboración propia.	46
Ilustración 34. Procedimientos a realizar para modelo de dos etapas de Nai-Chun Ping-Shun Chen, Ying-Jie Lin & Nai Peng (2016).	52
Ilustración 35. Aplicación del modelo de asignación de enfermeras al rediseño de Wong, T.C. & Xu, M. (2014).	55
Ilustración 36. Mapa estratégico de HCUCH según Garrido, N. (2015).	60
Ilustración 37. Modelo de negocios de HCUCH Adaptado de Garrido, N. (2015) y validado con el jefe de la unidad de análisis y gestión del HCUCH, Williams Astudillo.	62
Ilustración 38. Delta Hax de HCUCH. Elaboración propia.....	63
Ilustración 39. Patrón de arquitectura de procesos para hospitales. Elaboración propia.....	64
Ilustración 40. Patrón de arquitectura de procesos para hospitales: Servicios comunes propios. Elaboración propia.	66
Ilustración 41. Patrón de arquitectura de procesos para hospitales: Gestión Servicio de Imagenología. Elaboración propia.	67
Ilustración 42. Proceso AS IS de gestión de turnos radiológicos en CI del HCUCH. Elaboración propia. Fuente: Levantamiento de procesos de la tesista en el CI del HCUCH.....	68
Ilustración 43. Proceso AS IS de creación de informes radiológicos en CI del HCUCH. Elaboración propia. Fuente: Levantamiento de procesos de la tesista en el CI del HCUCH.	71
Ilustración 44. Comportamiento de la demanda en el tiempo. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	74

Ilustración 45. Descomposición de series de tiempo aditivas para observar tendencia y estacionalidades diarias Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.....	74
Ilustración 46. Serie de tiempo mensual de demanda. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	75
Ilustración 47. Descomposición de series de tiempo aditivas para observar tendencia y estacionalidades mensuales. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.....	75
Ilustración 48. Demanda según día de semana. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	76
Ilustración 49. Demanda mensual. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.....	77
Ilustración 50. Demanda según número de la semana. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	77
Ilustración 51. Demanda según número del día. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	78
Ilustración 52. Demanda según período del mes. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.....	78
Ilustración 53. Demanda según año. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.....	79
Ilustración 54. Comparación entre modelo y datos reales. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	83
Ilustración 55. Pronóstico utilizando la media. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	83
Ilustración 56. Pronóstico de demanda utilizando última observación o método Naive. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.....	84
Ilustración 57. Pronóstico usando la última estacionalidad detectada. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.....	84
Ilustración 58. Pronóstico de demanda usando la media entre el primer y último datos o Random walk. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.....	85
Ilustración 59. Suavizamiento exponencial simple. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.....	85
Ilustración 60. Comparación modelos de predicción de demanda. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	86
Ilustración 61. Promedio móvil de siete períodos. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.....	87
Ilustración 62. Promedio móvil de catorce períodos Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.....	87
Ilustración 63. Promedio móvil de veintiún períodos. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.....	88
Ilustración 64. Promedio móvil de veintiocho períodos. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	88
Ilustración 65. Comparación modelos de promedio móviles de diferentes períodos. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.....	89
Ilustración 66. Proyección de la demanda diaria usando ARIMA. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	90
Ilustración 67. Demanda en el CI del HCUCH y ARIMA. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	90

Ilustración 68. Comparación demanda real y proyección ARIMA. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	91
Ilustración 69. Acercamiento de comparación entre demanda real y proyección ARIMA. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	92
Ilustración 70. Cantidad de minutos según unidad. Elaboración propia.	94
Ilustración 71. Cantidad de minutos según estado de paciente y unidad. Elaboración propia.	95
Ilustración 72. Cantidad máxima de minutos según unidad. Elaboración propia.	95
Ilustración 73. Patrón de arquitectura de procesos para hospitales: Gestión de personal. Elaboración propia.	101
Ilustración 74. Proceso TO BE de gestión de turnos radiológicos en CI del HCUCH. Elaboración propia.	102
Ilustración 75. Arquitectura Tecnológica para prototipo funcional del CI del HCUCH. Elaboración propia.	108
Ilustración 76. Casos de uso proyecto. Elaboración propia.	109
Ilustración 77. Diagrama de secuencia. Elaboración propia.	112
Ilustración 78. Diagrama de clases. Elaboración propia.	113
Ilustración 79. Planilla en formato .xlsx como input del prototipo funcional. Elaboración propia.	114
Ilustración 80. Vista inicial prototipo funcional. Elaboración en conjunto con Sebastián Donoso y Alejandra Alarcón.	114
Ilustración 81. Vista de resultados prototipo funcional. Elaboración en conjunto con Sebastián Donoso y Alejandra Alarcón.	115
Ilustración 82. Informe de resultados en formato .pdf (Página 1). Elaboración en conjunto con Sebastián Donoso y Alejandra Alarcón.	116
Ilustración 83. Informe de resultados en formato .pdf (Página 2). Elaboración en conjunto con Sebastián Donoso y Alejandra Alarcón.	117
Ilustración 84. Modelo de Gestión de Cambio para Proyecto analizado. Elaboración propia. ...	120
Ilustración 85. Anexo 2: Encuesta de usabilidad de Aplicación Web. Elaborado en base a encuesta del profesor Ángel Jiménez.	150

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Protocolo de tiempo máximo de informe radiológico.	23
Tabla 2: Tabla de riesgos según área calculados con FMEA. Elaboración en conjunto con HCUCH.	36
Tabla 3. Estado del arte y tesis propia. Elaboración propia.	57
Tabla 4. Valores de MAE y MAPE para modelos de regresión lineal. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.....	81
Tabla 5. Tabla de indicadores para diferentes coeficientes. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	82
Tabla 6. Valores de MAE y MAPE para modelos 4, Media, Naive, Seasonal Naive y Random Walk. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	86
Tabla 7. Valores de MAE y MAPE para modelos de media móvil para 7, 14, 21 y 28 períodos. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.....	89
Tabla 8. Valores de ME, RMSE, MAE, MPE, MAPE, MASE, ACF1 para conjuntos de entrenamiento y de prueba para ARIMA(4,1,1). Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	91
Tabla 9. Valores de ME, RMSE, MAE, MPE, MAPE, MASE, ACF1 para conjuntos de entrenamiento y de prueba para ARIMA(0,1,1)(0,1,0). Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.	92
Tabla 10. Suma de tiempo en minutos de elaboración de informes radiológicos. Elaboración propia.....	93
Tabla 11. Tiempos totales en minutos de creación de informes radiológicos. Elaboración propia.	94
Tabla 12. Tiempos totales en minutos de creación de informes radiológicos según estado de paciente. Elaboración propia.	94
Tabla 13. Tabla de tiempos en que se demoran los Radiólogos en realizar el informe radiológico según Unidad y tipo de examen.....	96
Tabla 14. Promedio y desviación estándar en minutos del tiempo en que demoran hacer informes radiológicos según examen. Elaboración propia.	96
Tabla 15. Variables de diseño de dirección de cambio: Estructura, empresa y mercado. Elaboración propia.	97
Tabla 16. Variables de diseño de dirección de cambio: Anticipación. Elaboración propia.....	98
Tabla 17. Variables de diseño de dirección de cambio: Prácticas de trabajo. Elaboración propia.	98
Tabla 18. Variables de diseño de dirección de cambio: Integración de procesos conexos. Elaboración propia.	99
Tabla 19. Variables de diseño de dirección de cambio: Mantenimiento consolidada de estado. Elaboración propia.	100
Tabla 20. Ejemplo input datos para modelo de asignación de horas radiólogo para CI del HCUCH. Elaboración propia. Fuente: Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.....	105
Tabla 21. Resultados de encuesta de usabilidad de Aplicación web. Elaboración propia.....	107
Tabla 22. Caracterización y diagnóstico del cambio. Elaboración propia.	122
Tabla 23. Comparación cantidad de horas radiólogo real y según modelo: 2018. Elaboración propia.....	127
Tabla 24. Comparación cantidad de horas radiólogo real y según modelo: 2019. Elaboración propia.....	127
Tabla 25. Flujo de caja social para proyecto. Elaboración propia.	128

Tabla 26. Cantidad de horas ahorradas si el proyecto se usa un 10% de las veces. Elaboración propia.....	128
Tabla 27. Cantidad de horas ahorradas para proyecto en escenario optimista. Elaboración propia.....	129
Tabla 28. Cantidad de horas ahorradas para proyecto en escenario medio. Elaboración propia.	129
Tabla 29. Cantidad de horas ahorradas para proyecto en escenario pesimista. Elaboración propia.....	129
Tabla 30. Tabla de comparación entre tres escenarios diferentes. Elaboración propia.	130
Tabla 31. Anexo 1: Tabla de indexación modelo de optimización. Elaboración propia.	141

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Formulación general de problema de asignación según Chaudhuri, S., & Walter, R. A. (1995).	45
Ecuación 2. Formulación de problema de asignación de enfermeras según Augustine, L., Faer, M., Kavountzis, A. & Patel, R. (2009).....	48
Ecuación 3. Regresión lineal 1 candidata a pronóstico de demanda del CI. Elaboración propia.	80
Ecuación 4. Regresión lineal 2 candidata a pronóstico de demanda del CI. Elaboración propia.	80
Ecuación 5. Regresión lineal 3 candidata a pronóstico de demanda del CI. Elaboración propia.	80
Ecuación 6. Regresión lineal 4 candidata a pronóstico de demanda del CI. Elaboración en conjunto con TSC.....	80
Ecuación 7. Fórmula para calcular MAE. Elaboración propia.	80
Ecuación 8. Fórmula para calcular MAPE con A_t como el valor actual, F_t el pronóstico y n como la cantidad total de datos. Elaboración en conjunto con TSC.....	80

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO

1.1 Antecedentes de la Industria de la salud

1.1.1 Salud en Chile

Según la jerarquía de necesidades humanas¹, la salud es uno de los puntos fundamentales para el desarrollo del ser humano como individuo, sociedad y país, ubicándose en el segundo escalón de la pirámide referido a Seguridad. Chile no es la excepción contando con un sistema de salud compuesto por todas las personas, naturales o jurídicas, de derecho público o privado, que realicen o contribuyan a la ejecución de promoción, protección y recuperación de la salud y de rehabilitación de la persona enferma; así como coordinar y controlar las acciones anteriores².

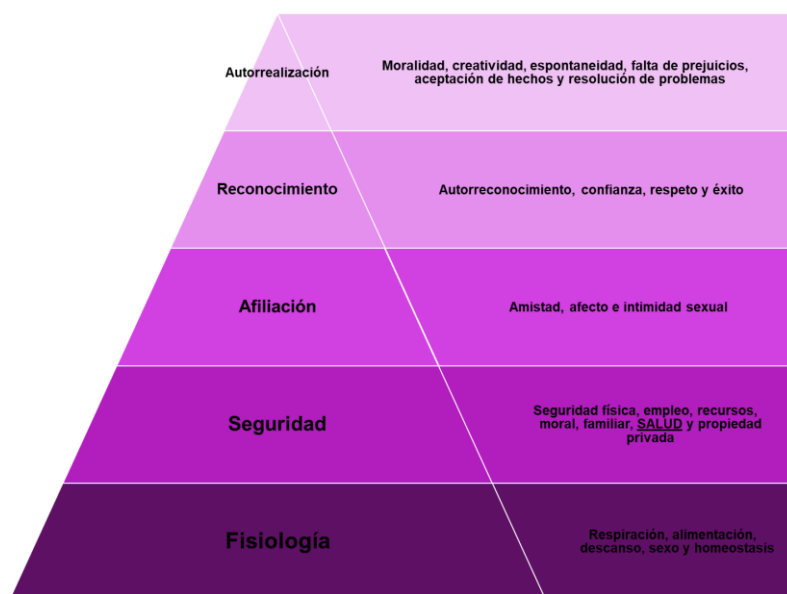


Ilustración 1. Jerarquía de necesidades humanas según Abraham Maslow (1984).

En Chile el sistema de salud es mixto³, es decir, se conforma tanto de organizaciones públicas y privadas, las cuales deben funcionar en base a la cotización obligatoria mínima del 7% de la renta imponible de los trabajadores activos y pasivos, lo anterior es decisión del cotizante si hacerlo en entidades públicas o privadas como lo menciona la Superintendencia de Salud (2018). A pesar de lo anterior, si se analiza el sistema de

¹ Maslow, A. (1984). *A Theory of Human Motivation*. Estados Unidos: Martino Fine Books.

² Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: BCN (2006). *Reorganiza el Ministerio de Salud y crea los Servicios de Salud, el Fondo Nacional de Salud, el Instituto de salud pública de Chile y la Central de abastecimiento del sistema nacional de servicios de salud*. Recuperado de <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=6999>

³Superintendencia de Salud (2018). *¿Cómo funciona el Sistema de Salud en Chile?* Recuperado de <http://www.supersalud.gob.cl/difusion/665/w3-article-17328.html>

salud desde un punto de vista normativo, se llega a la conclusión de que este es unitario, es decir, sólo el sector público se dedica a crear normativas con respecto a este sector⁴.

Según el Departamento de Estadísticas e información de salud: DEIS (2018) en la distribución de la población en los sistemas públicos y privados predomina el sector público como se verifica en la siguiente ilustración:

DISTRIBUCIÓN DE POBLACIÓN SEGÚN SECTOR DE SALUD

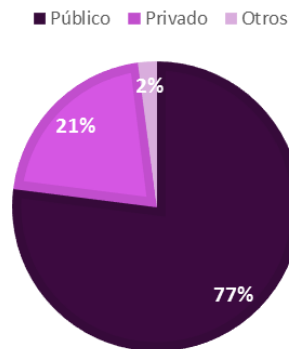


Ilustración 2. Distribución de población en el sector de Salud según el DIES (2018).

El sistema de salud en Chile se divide en tres grandes industrias⁵, siendo estas:

- **Previsional-financiera:** Industria que recauda, administra y distribuye los recursos entregados por los cotizantes y otros beneficiarios. El Fondo Nacional de Salud (FONASA), Instituciones de Salud Previsional (ISAPRES), mutuales, compañías de seguros y cajas de compensación son un claro ejemplo de esta industria.
- **Servicio asistencial:** Conformado por prestadores públicos y privados, ya sean individuales o institucionales que brindan servicios de salud de diversas índoles. Dentro de esta industria, se distinguen principalmente:

⁴Ministerio de salud, Gobierno de Chile. (2017). *Funciones y objetivos*. Recuperado de <https://www.minsal.cl/funciones-objetivos/>

⁵Fundación Sol (2009). *Caracterización del Sistema de Salud Chileno: Enfoque Laboral, Sindical e Institucional*. Recuperado de <http://www.fundacionsol.cl/wp-content/uploads/2010/09/Cuaderno-11-Salud-y-enfoque-laboral.pdf>

- **Prestadores institucionales:** Personas jurídicas que prestan servicios de salud, pueden ser de atención cerrada u hospitalaria y atención abierta o ambulatoria. Estos prestadores se encuentran en el sector público y privado.
 - **Prestadores individuales:** Personas naturales que prestan servicios de salud, los cuales dependen de prestadores institucionales o poseen convenios con los mismos. Estos prestadores sólo se encuentran en el sector privado.
- **Productos sanitarios:** Industria que genera y comercializa productos del área, usualmente pertenecen a esta industria los laboratorios y empresas farmacéuticas o de áreas afines.

1.1.1.1 Sector Público

El Sistema Nacional de Servicios de Salud (SNSS)⁶ junto con otras instituciones de salud pública actúan en este sector, pero las últimas en un rango más limitado. En particular, el SNSS está compuesto por organismos independientes los cuales son:

- **Línea Normativa-Fiscalizadora:** Las cuales rigen y velan por las normas y protocolos referentes a la salud. Aquí se encuentran entidades tales como la Superintendencia de Salud⁷, el Instituto de Salud Pública y el Ministerio de Salud, conteniendo este a la Subsecretaría de Salud Pública y a la Subsecretaría de Redes Asistenciales.
- **Línea Industria de Seguros:** En esta línea se identifica el Fondo Nacional de Salud (FONASA)⁸ como máxima entidad, el cual administra la cotización del 7% de la renta imponible mensual junto con los aportes fiscales directos del estado.

⁶Observatorio Chileno de Salud Pública: OCHISAP (2019). *Los Servicios de Salud del S.N.S.S.* Recuperado de <http://ochisap.cl/index.php/los-servicios-de-salud-del-s-n-s-s>

⁷Superintendencia de Salud (2019). *Fiscalización*. Recuperado de <http://www.supersalud.gob.cl/portal/w3-propertyname-582.html>

⁸Fondo Nacional de Salud: FONASA (2019). *Conoce Fonasa*. Recuperado de <https://www.fonasa.cl/sites/fonasa/conoce-fonasa>

En FONASA, existen cuatro grupos⁹ para clasificar a sus beneficiarios:

- **Grupo A:** En este grupo se clasifican las personas que no poseen recursos económicos, por lo que se les designa la atención gratuita en consultorios públicos y hospitales.
- **Grupo B:** Grupo que clasifica a las personas con ingreso menor o igual a \$276.000. Ellos también son atendidos de forma gratuita en consultorios públicos y hospitales.
- **Grupo C:** En este grupo se clasifican las personas con ingreso mayor a \$276.001 y menor o igual a \$402.960. Ellos deben pagar un 10% del arancel en hospitales públicos. Cabe destacar que, si ellos poseen 3 o más cargas familiares, pertenecerán automáticamente al Grupo B.
- **Grupo D:** Grupo en donde las personas poseen un ingreso mayor a \$402.961, por ende, deben pagar un 20% del arancel en hospitales públicos. Al igual que en grupos anteriores, si los beneficiarios poseen 3 o más cargas familiares, pertenecerán al Grupo C.

Al mismo tiempo, se definen las dos modalidades de atención que se pueden utilizar en FONASA:

- **Modalidad de Atención Institucional (MAI)**¹⁰: Las prestaciones médicas se otorgarán en establecimientos públicos, tales como:
 - Centros de Diagnóstico Terapéutico (CDT).
 - Centros de Referencia de Salud (CRS).
 - Centros de Salud Familiar (CESFAM).
 - Hospitales públicos.
 - Servicio de Atención Primaria de Urgencia (SAPU).
- **Modalidad de Libre Elección (MLE)**¹¹: En esta modalidad, las personas pueden atenderse en establecimientos privados o con profesionales que tengan convenio. Cabe destacar que, en esta modalidad, se pueden atender los grupos B, C y D, anteriormente mencionados.

⁹Observatorio Chileno de Salud Pública: OCHISAP (2019). *¿Qué es FONASA y cuáles son las categorías de beneficiarios?* Recuperado de <http://ochisap.cl/index.php/preguntas-frecuentes?start=6>

¹⁰Superintendencia de Salud (2019). *Modalidad de Atención Institucional o M.A.I.* Recuperado de <http://www.supersalud.gob.cl/difusion/665/w3-propertyvalue-2447.html#acordeonLegislacion>

¹¹Superintendencia de Salud (2019). *Modalidad Libre Elección o M.L.E.* Recuperado de <http://www.supersalud.gob.cl/difusion/665/w3-propertyvalue-2383.html#acordeonLegislacion>.

- **Línea Industria de Prestaciones asistenciales¹²**: Se encuentran en esta línea los servicios de salud y cualquier entidad que posea convenios con el sistema público de Salud de Chile. Se pueden clasificar según dos tipos de categorías: Establecimiento y Administración.
 - **Establecimiento**: Clasificación según la complejidad de los establecimientos, ya sea esta primaria, secundaria o terciaria.
 - **Nivel Primario o Asistencia Primaria de Salud (APS)**: Se centra en los establecimientos de baja complejidad, usualmente con atención ambulatoria o abierta y alta cobertura poblacional. Estos se subdividen en:
 - Consultorios Generales (CG), los cuales se dividen en Urbanos (CGU) y Rurales (CGR), según el sitio en el que actúan.
 - Centros de salud según sus diversos tipos, tales como Centro de Salud Familiar (CESFAM), Centro de Salud Urbano (CSU), Centro de Salud Rural (CSR), Centro Comunitario de Salud Familiar (CECOF) y Centro Comunitario de Salud Mental Familiar (COSAM).
 - Servicio de urgencia de mediana y baja complejidad, generalmente operativo en horario no hábil, llamados Servicio de Atención Primaria de Urgencia (SAPU).
 - Postas y estaciones médicas, tales como las Postas Rurales (PR) y las Estaciones Médico Rurales (EMR). Ambas proveen de atención ambulatoria básica, la diferencia es que los segundos operan en recintos físicos donados por la comunidad y, por ende, no poseen un auxiliar permanente en el recinto, sino que poseen un Equipo de Salud Rural que trabaja por rondas.
 - **Nivel Secundario o Asistencia Secundaria de Salud (ASS)**: Hace referencia a los establecimientos de mediana complejidad, usualmente con atención ambulatoria o abierta en conjunto con

¹² Gattini, C. (2018). *El sistema de salud en Chile*. Recuperado del Observatorio Chileno de Salud Pública: OCHISAP http://www.ochisap.cl/images/ene20/Sistema_Salud_Chile_Gattini_2018.pdf

atención hospitalaria o cerrada y media cobertura poblacional. En este nivel se destacan los Consultorios Adosados de Especialidades (CAE), Centro de Diagnóstico Terapéutico (CDT) y Centro de Referencia de Salud (CRS).

- **Nivel Terciario o Asistencia Terciaria de Salud (ATS):** Establecimientos de alta complejidad, usualmente con atención ambulatoria o abierta en conjunto con atención hospitalaria o cerrada y baja cobertura poblacional.
- **Administración:** Clasificación según la dirección de los establecimientos por complejidad.
 - **Municipios:** Se encargan del presupuesto y gestión financiera de los establecimientos que posean atención primaria de salud, es decir, la asistencia sanitaria esencial.
 - **Servicios de Salud:** Se encargan de administrar de forma directa a establecimientos de nivel secundario, es decir, especialidades básicas que se presentan usualmente en hospitales como en consultorios y nivel terciario, es decir, de alta complejidad, usualmente presente en institutos especializados.
- **Línea Industria de Productos Sanitarios:** En esta línea actúa la Central de Abastecimiento del Sistema Nacional de Servicios de Salud (CENABAST)¹³ abasteciendo de fármacos e insumos clínicos a los establecimientos del Sistema Nacional de Servicios de Salud, a los establecimientos municipales de salud y a otros adscritos al sector público, como los hospitales de las fuerzas armadas o universidades.¹⁴

1.1.1.2 Sector Privado

Se procede a analizar el sector privado mediante los tipos de líneas que la describen:

¹³ Ministerio de salud, Gobierno de Chile (2017). *Cenabast*. Recuperado de <https://www.minsal.cl/central-de-abastecimiento/>

¹⁴ Central de Abastecimiento del Sistema Nacional de Servicios de Salud: CENABAST (2017) *¿Quiénes somos?* Recuperado de <https://www.cenabast.cl/institucion/quienes-somos/>

- **Línea Industria de Seguros:** En esta línea, se verifican instituciones con y sin fines de lucro como se detallan a continuación:
 - **Instituciones con fines de lucro:** Se encuentran las ISAPRES y compañías de seguros afiliadas, las cuales poseen la mayoría de los afiliados en el sector privado mediante el Contrato de Salud¹⁵. En particular, las ISAPRES¹⁶ tienen como objetivo administrar y otorgar las prestaciones de salud contratadas por beneficiarios, es decir, cotizantes y cargas familiares según su plan de salud. El financiamiento del plan de salud de las ISAPRES corresponde al 7% mínimo de las remuneraciones del trabajador, y opcionalmente a través de un aporte adicional orientado a obtener mayores beneficios. En el caso de las ISAPRES, se verifican tres modalidades de atención, las cuales según la Superintendencia de Salud (2018), son:
 - **Modalidad Cerrada o Médico de Cabecera:** En esta modalidad, se bonifica solamente si el beneficiado se atiende en el prestador que el plan de salud indica.
 - **Modalidad Libre Elección (MLE):** En cualquier prestador médico en el que el beneficiario se atienda, podrá recibir bonificación por parte de la ISAPRE.
 - **Modalidad Prestadores en Convenio o Preferentes:** La ISAPRE podrá bonificar al beneficiado si este se atiende en un determinado prestador o red de prestadores. Cabe destacar que, la bonificación mayor se dará si el beneficiario se atiende en el prestador preferente establecido en el plan, quedando los otros prestadores no preferentes bajo la Modalidad de Libre Elección (MLE) con menor bonificación.
 - **Instituciones sin fines de lucro:** Aquí actúan las mutuales de empleadores¹⁷, las empresas privadas de administración delegada

¹⁵ Acuerdo entre la persona afiliada y su Isapre. Es un document formal individual en donde se verifican los deberes y derechos de ambas partes.

¹⁶ Isapres de Chile (2019) *Las ISAPRES*. Recuperado <https://www.isapre.cl/las-isapres>.

¹⁷ Según la Superintendencia de Seguridad Social (2019) son instituciones de Derecho Privado, sin fines de lucro, creadas única y exclusivamente con el objeto de entregar las prestaciones del Seguro Social Obligatorio Contra Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales según la Ley chilena N° 16.744 (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: BCN, 2019).

(EAD)¹⁸, las cajas de compensación de asignación familiar (CCAF)¹⁹ y las mutuales de las Fuerzas Armadas.

- **Línea Industria de Prestaciones asistenciales:** Se encuentran en esta línea los servicios de salud y cualquier entidad que posea convenios con el sistema público de Salud de Chile, pueden ser institucionales o individuales, según la Fundación Sol (2009).
- **Línea Industria de Productos Sanitarios:** En esta línea operan los establecimientos farmacéuticos y laboratorios que generan y comercializan los productos necesarios para la salud del país (Gattini, C., 2018).

¹⁸ Según la Superintendencia de Seguridad Social (2019) son empresas acreditadas que tienen contratados al menos 2.000 trabajadores y poseen características de salud específicas para entregar sus servicios.

¹⁹ Según la Superintendencia de Seguridad Social (2019) son entidades privadas administran prestaciones de seguridad social. Pagan varios beneficios y subsidios, y otorgan créditos sociales y otras prestaciones a sus afiliados.

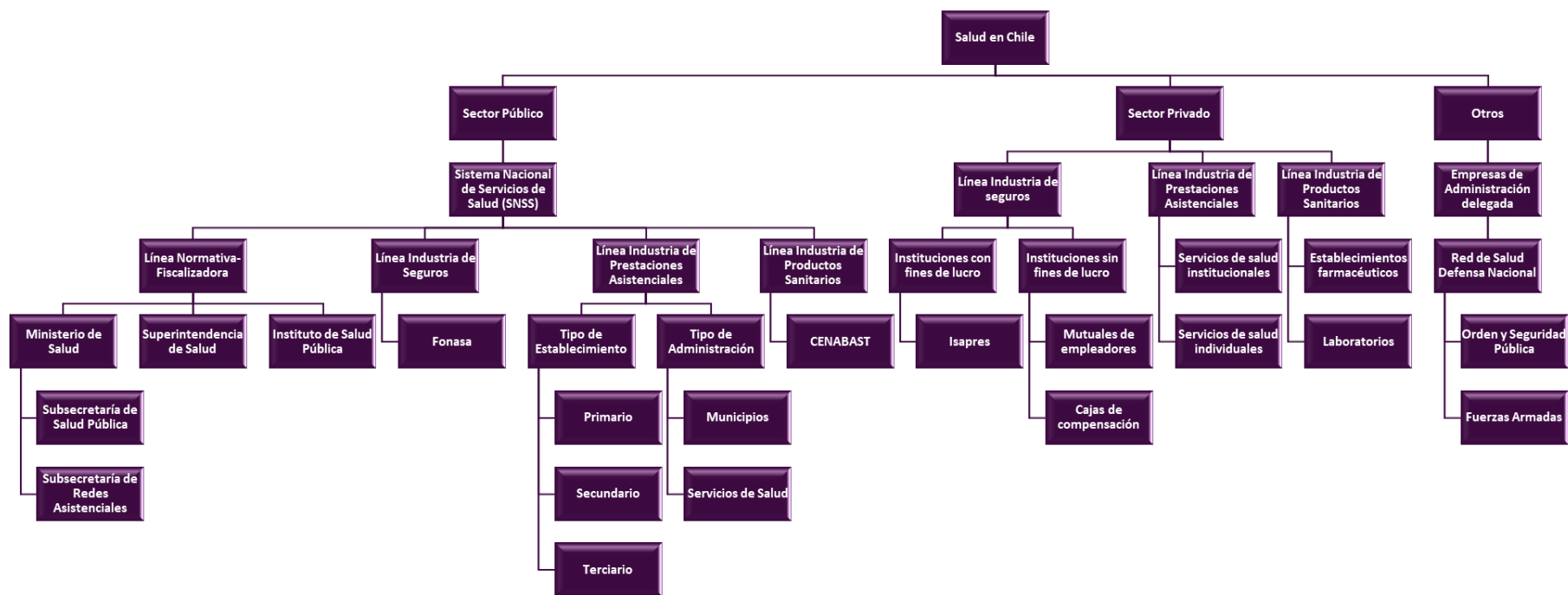


Ilustración 3. Esquema de Salud nacional según sectores público y privado. Elaboración propia.

1.1.2 Imagenología y Radiología

La Radiología es una rama de la medicina que utiliza la tecnología imagenológica para diagnosticar y tratar una enfermedad²⁰.

Como menciona la Sociedad chilena de Radiología: SOCHRADI (2019), la Radiología en Chile partió con diversos obstáculos por los años 1896 y posteriores debido a la escasa infraestructura y recursos, hasta que se creó una alianza entre la Facultad de medicina y la Facultad de ciencias físicas y matemáticas de la Universidad de Chile, en donde gracias a los profesores Arturo Salazar y Luis Zegers se pudo llegar, luego de numerosos experimentos, a la primera radiografía de una mano izquierda, entregando así un gran inicio a esta área, junto con innumerables beneficios a la medicina en general.

Hoy en día la Radiología se puede dividir en dos áreas diferentes²¹, ellas son: Radiología diagnóstica y Radiología intervencionista.

En particular, la Radiología diagnóstica tiene como objetivo ver estructuras dentro del cuerpo pudiendo así diagnosticar la causa de sus síntomas, vigilar la respuesta del cuerpo al tratamiento o detectar enfermedades específicas como cáncer de mama, cardiopatías, entre otros. Entre los exámenes radiológicos de diagnóstico se puede encontrar la Tomografía Computada (TC), Resonancia Magnética (RM), Angiografía por resonancia magnética (ARM), Mamografía, Radiografías (RX), entre otros (United States National Library of Medicine, 2019).

En cambio, la Radiología Intervencionista tiene como objetivo utilizar las imágenes para ayudar a guiar los procedimientos al, por ejemplo, introducir sondas u otros instrumentos y herramientas pequeñas o que necesitan ser guiadas en el cuerpo. Algunos de estos procedimientos son la Angiografía, Embolización, tratamientos contra el cáncer, Biopsias, entre otros (United States National Library of Medicine, 2019).

Hoy en día, gran parte de los establecimientos de salud cuentan con sistemas informáticos que soportan los principales flujos de trabajo tanto clínicos como administrativos que se dan en la institución. Los Servicios de Imagenología funcionan utilizando sistemas de información específicos, dadas las características propias de los servicios de imágenes. Ellos están conformados por distintos subsistemas y se

²⁰Radiological Society of North America: RSNA (2019). *Glosario de términos*. Recuperado de <https://www.radiologyinfo.org/sp/glossary/browse-glossary.cfm?sTerm=R>

²¹United States National Library of Medicine (2019). *Imagenología y radiología*. Recuperado de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/007451.htm>

comunican a su vez con otros sistemas de la institución a través de estándares internacionalmente aceptados. Dentro de estos se encuentran comúnmente²²:

- HIS (*Hospital Information System*): Maestro de la información de todo el hospital, cuya principal relación con los sistemas de Imagenología es enviar la información demográfica de los pacientes, como de los distintos eventos administrativos relacionados con su atención hospitalaria. Envía también solicitudes electrónicas de examen y recibe por parte de los sistemas de imagenología información para la facturación de cuentas de los pacientes.
- RIS (*Radiology Information System*): Principal controlador del flujo de trabajo, el cual mantiene la información de los estudios y sus estados. Dentro de sus principales funciones están: Enviar la información para que existan listas de trabajo tanto en los equipos que generan imágenes como en los computadores que ingresan al sistema en las distintas salas de examen, enviar datos de exámenes e insumos para facturación y, finalmente, administrar los reportes médicos, enviando la información para que esta se encuentre disponible para los especialistas.
- PACS (*Picture Archiving and Communications System*): Sistema principal de almacenamiento, distribución, visualización e impresión de imágenes médicas. Dentro de estos sistemas se realiza la revisión de imágenes para la realización de informes, permite acceder de forma inmediata a exámenes anteriores, distribuir las imágenes a distintos servicios clínicos, entre otras funciones.
- CM (*Connectivity Manager*): Interfaz que comunica al RIS con el PACS, logrando coherencia entre la información clínica y administrativa. Uno de sus principales objetivos es monitorear el flujo de atención de los pacientes y actualizar los estados de pacientes e imágenes entre ambos sistemas.
- DICOM (*Digital Image Communication in Medicine*): Estándar reconocido mundialmente para la comunicación entre dispositivos generadores de imágenes médicas y el intercambio de estas, pensado para su manejo, visualización, almacenamiento, impresión y transmisión.
- HL7 (*Health Level Seven*): Estándar de comunicación de eventos en salud diseñado para facilitar el intercambio electrónico de información clínica.

²² Astudillo, W. (2017). *Flujos de atención: Sistemas RIS-PACS*.

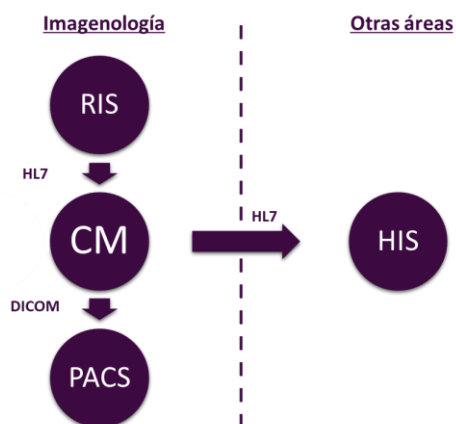


Ilustración 4. Esquema de funcionamiento de sistema de comunicación imagenológica según Astudillo, W. (2017).

Otro punto relevante en este ámbito es la privacidad y seguridad de los datos e imágenes que se envían entre los diversos sistemas del mismo centro u otros centros médicos. La norma internacional básica desarrollada para la gestión de seguridad de la información de la salud según International Organization for Standardization: ISO (2016) es ISO27799, la cual proporciona orientación sobre la protección de estos sistemas.

En particular, en Chile se utilizan diversas arquitecturas para mejorar la seguridad, en específico, el estándar DICOM establece protocolos de comunicación sobre la base de TCP/IP ²³.

²³ Farías, M. (2017) *Satisfacción de Usuarios Clínicos y Administrativos con Aspectos de Calidad de Servicios de Telerradiología*. (Tesis publicada de Magíster). Universidad de Chile, Santiago, Chile.

1.2 Hospital Clínico Universidad de Chile

El Hospital Clínico Universidad de Chile (HCUCH) fue fundado el año 1952 en la comuna de Independencia, siendo uno de los primeros campos clínicos y docentes de la Universidad de Chile²⁴, el cual ha sido clasificado como la institución de salud número uno de Chile según el ranking internacional SCImago²⁵, teniendo en cuenta las variables de volumen y calidad de investigación, innovación e impacto social.

El HCUCH es el principal centro docente y formador tanto de especialistas como de sub-especialistas de carreras de salud en el país, debido a que instruye a más de la mitad de ellos, es decir, más de 18.000 profesionales a 2018 según Ministerio de Salud (2018).

Además de lo anterior, se destaca la incorporación de plataformas tecnológicas de punta y avances médicos de primer orden para diversas áreas existentes del mismo como Imagenología o nuevas áreas como Telemedicina según Cluster Salud (2016).

El HCUCH posee 65.000 m^2 de superficie²⁶, en donde trabajan aproximadamente 3.700 personas²⁶ pudiendo así entregar las dos líneas de servicios que posee, los cuales son: Servicios asistenciales de salud, en donde se encuentra la atención ambulatoria, hospitalizada o cerrada y de urgencia, como también sus servicios académicos, destacando pregrado, especializaciones y posgrado (Hospital Clínico Universidad de Chile, 2018).

Los pacientes que se atienden en el HCUCH vienen de comunas aledañas a él, tales como Recoleta, Independencia, Conchalí, Quilicura, entre otras según información entregada de la Base de Datos del HCUCH al año 2018²⁷.

En particular, en el año 2018 se han podido realizar más de 1.000.000 de exámenes²⁶ y 20.000 cirugías²⁶ de las cuales un 84% se distribuyen en atención programada y el

²⁴ Hospital Clínico de la Universidad de Chile (HCUCH) (2019). *Institución de salud N°1 en el país en ranking SCImago*. Recuperado de <https://www.redclinica.cl/especiales-de-salud/principal-institucion-en-salud-de-chile.aspx>.

²⁵ SCIMAGO Institutions Rankings (2019). *Hospital Clínico Universidad de Chile José Joaquín Aguirre, Chile*. Recuperado de <https://www.scimagoir.com/institution.php?idp=57243>.

²⁶ Cluster Salud (2016). *Crisis: Hospital Clínico de la Universidad de Chile sufrió gran incremento de deuda*. Recuperado de <https://clustersalud.americaeconomia.com/chile-hospital-clinico-u-chile-sufrio-gran-incremento-deuda>.

²⁷ Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) *Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018*.

16% en atenciones de urgencia. Al mismo tiempo, es importante mencionar que la cobertura de salud de los pacientes del HCUCH se divide en tres grandes grupos, predominando la ISAPRE con un 61%, FONASA con un 31% y otros convenios con un 8% según información entregada de la Base de Datos del HCUCH al año 2018.

El HCUCH posee la característica de ser una organización tanto pública como privada, incluyendo también su característica de campo docente²⁸. Cabe destacar que el Hospital Clínico cuenta con la Modalidad de Libre Elección (M.L.E.) de Fonasa, por lo anterior, se verifica que su competencia proviene tanto de prestadores privados y públicos de salud que se encuentren cercanos geográficamente como, por ejemplo:

- **Prestadores privados**²⁹: Clínica Dávila (Recoleta), Clínica Santa María (Providencia), Red Salud UC (Santiago).
- **Prestadores públicos**²⁸: Hospital Clínico San José (Independencia), Hospital de niños Roberto del Río (Independencia), Hospital del Carmen de Maipú (Maipú).

El organigrama del Hospital Clínico de la Universidad de Chile³⁰, ligado a la institución educacional del mismo nombre, se presenta a continuación, dejando a la vista las dos grandes ramas de servicios explicadas con anterioridad, es decir, área médica y académica, entendiéndose que para cada una de ellas se necesitan autoridades diferidas.

²⁸Fundación Hospital Clínico Universidad de Chile (2018). *La Fundación Hospital Clínico Universidad de Chile*. Recuperado de <https://www.fundacionredclinica.cl/>

²⁹ Superintendencia de Salud (2019). *Registro de Prestadores Acreditados - Por N° de registro*. Recuperado de <http://www.supersalud.gob.cl/acreditacion/673/w3-propertyvalue-4710.html>

³⁰Universidad de Chile (2018). *Organigramas Universidad de Chile*. Recuperado de <https://www.uchile.cl/porta/presentacion/informacion-publica/78614/organigramas-universidad-de-chile>.

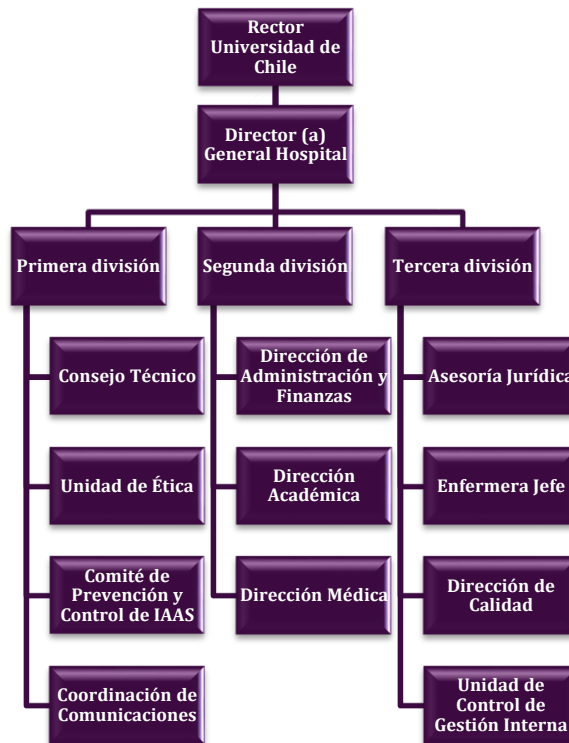


Ilustración 5. Organigrama Hospital Clínico Universidad de Chile (HCUCH) según Universidad de Chile (2018).

1.2.1 Centro de Imagenología del Hospital Clínico de la Universidad de Chile

El Centro de Imagenología del HCUCH (CI) está equipado para recibir y diagnosticar imágenes, principalmente Rayos X (RX), Tomografía Computada (TAC), Resonancia Magnética (RM), Mamografía (MAMO), Angiografía (ANGIO), Telecomandado (TELE), Procedimientos Digestivos (DIGES) y Ecografía (ECO) de las diversas áreas de la radiología según corresponda, entre ellas Neurorradiología (NEU), Radiología Cardioráxica (TRX), de Abdomen y Pelvis (CPO), Músculo-esquelética (MES), Radiología pediátrica (PED), Imágenes de Mama (MAM) y Radiología Intervencional (INT) ya sea de manera presencial o mediante Telemedicina, específicamente Teleradiología, según el Hospital Clínico de la Universidad de Chile (2019).

Cabe destacar que no todas las áreas realizan todos los exámenes, por ejemplo, Neurorradiología no realiza Rayos X.

Las actuales dependencias del Centro de Imagenología fueron inauguradas el año 2002³¹ y cuenta con un reconocimiento nacional e internacional junto con el sello de la Universidad de Chile según los rankings Nature Index³², CWTS Leiden³³ y Academic Ranking of world Universities (ARWU)³⁴, los cuales resaltan la acreditación del HCUCH con los más altos estándares de calidad y seguridad en todo el proceso de transmisión e información de exámenes radiológicos, como también de la destacada formación de Médicos Radiólogos, Tecnólogos Médicos y Técnicos de Nivel Superior en Imagenología.

Actualmente el Centro de Imagenología cuenta con más de 60³⁵ especialistas de la salud, entre ellos Médicos Radiólogos, Tecnólogos médicos y becados de radiología, los cuales atienden en promedio 82.709³⁶ pacientes por año según los datos entregados por el RIS del CI del HCUCH (2013-2018), el cual cuenta con más de 470.000 registros. Cada registro es un examen realizado en el CI del HCUCH con sus respectivos datos.

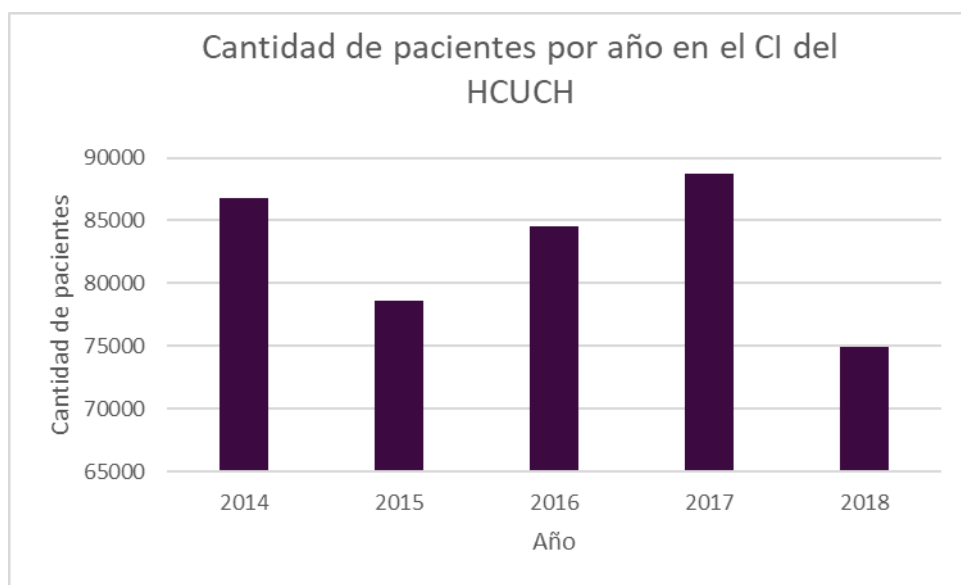


Ilustración 6. Cantidad de pacientes por año en el CI del HCUCH. Elaboración propia. Fuente: Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

³¹ Hospital Clínico de la Universidad de Chile (HCUCH) (2019). *Líderes en Imagenología*. Recuperado de <http://teleradiologia.redclinica.cl/>

³²Springer Nature (2019). *Nature Index 2019 tables: Institutions*. Recuperado de <http://www.shanghairanking.com/World-University-Rankings/University-of-Chile.html>

³³Universiteit Leiden (2019). *CWTS Leiden Ranking 2019*. Recuperado de <https://www.leidenranking.com/ranking/2019/list>

³⁴ShanghaiRanking Consultancy (2019). *Academic Ranking of World Universities (ARWU), University of Chile*. Recuperado de <http://www.shanghairanking.com/World-University-Rankings/University-of-Chile.html>

³⁵ Información entregada por el jefe de la unidad de análisis y gestión, Williams Astudillo.

³⁶ Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) *Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018*.

En particular, los pacientes anteriormente categorizados provienen de las comunas más cercanas tales como Recoleta, Independencia, Conchalí, Quilicura, entre otras según información entregada de la Base de Datos del HCUCH al año 2018, lo cual posee sentido debido a la cercanía, prestigio, experiencias anteriores con el centro como también los convenios médicos que posee, los cuales fueron detallados con anterioridad. Como se ve en la siguiente ilustración:

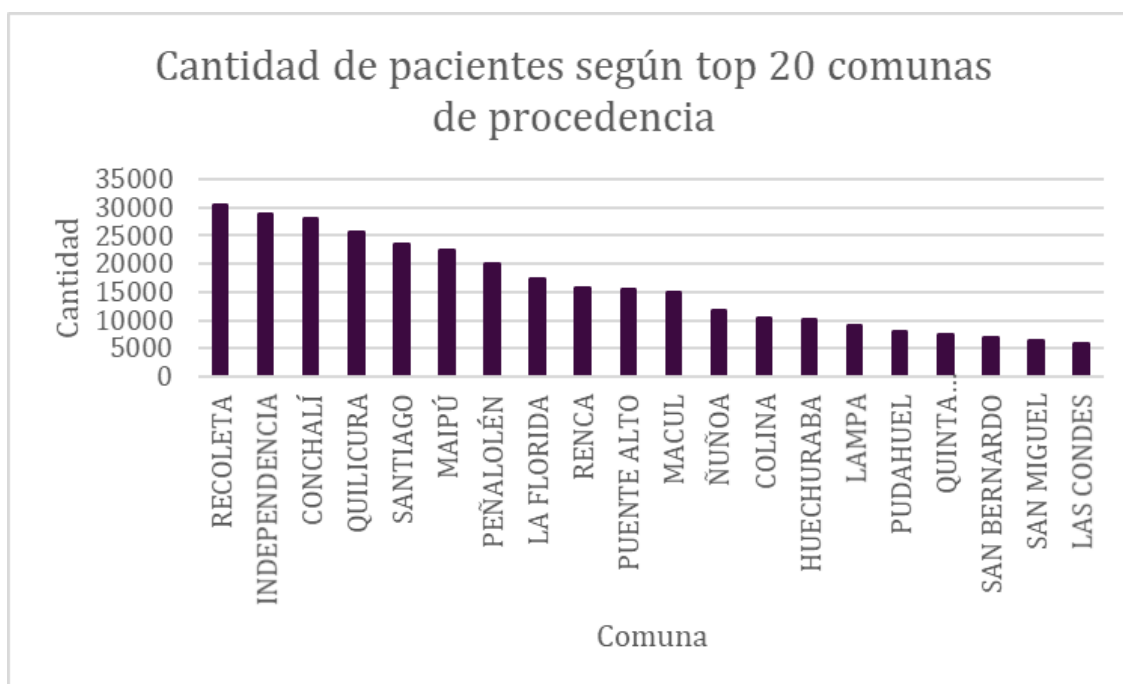


Ilustración 7. Cantidad de pacientes según top 20 comunas de procedencia. Elaboración propia. Fuente: Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Al mismo tiempo, en la segmentación por sexo de pacientes predomina el sexo femenino sobre el masculino, con un 60% versus un 40%, respectivamente lo cual se condice con la tendencia nacional, es decir, que es más frecuente que las pacientes recurran a centros médicos, lo cual también trae consecuencias en sus planes de salud.³⁷

³⁷ Urquizar, V. (2020) *Discriminación de género en el sistema de Isapre en Chile*. (Tesis publicada de Magíster). Universidad de Chile, Santiago, Chile.

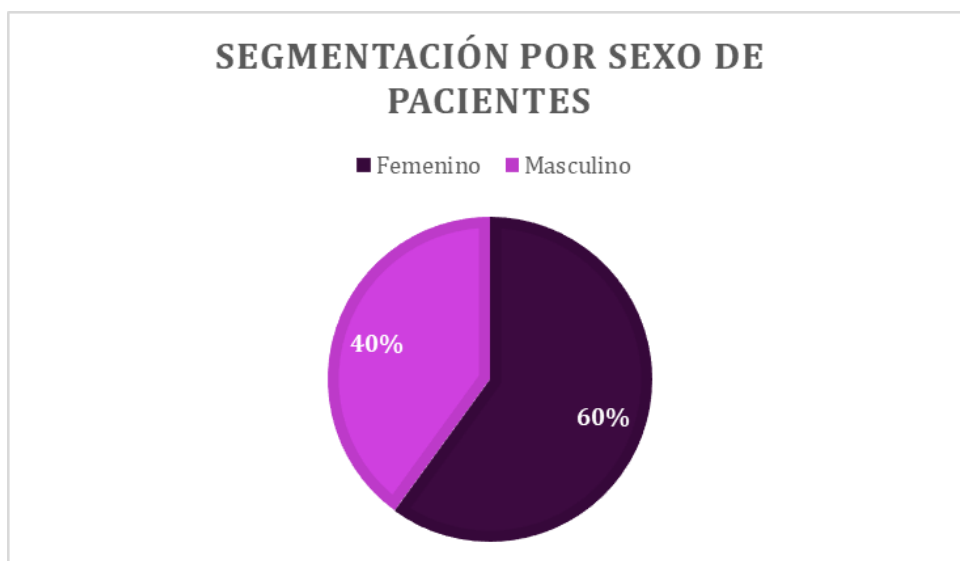


Ilustración 8. Segmentación por sexo de pacientes. Elaboración propia. Fuente: Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Con respecto a la edad de los pacientes, se verifica que la distribución entre los 25 a 54 años y mayor a 65 años son los que visitan en mayor medida el CI del HCUCH representando al 33,88% y 30,82%³⁸, respectivamente.

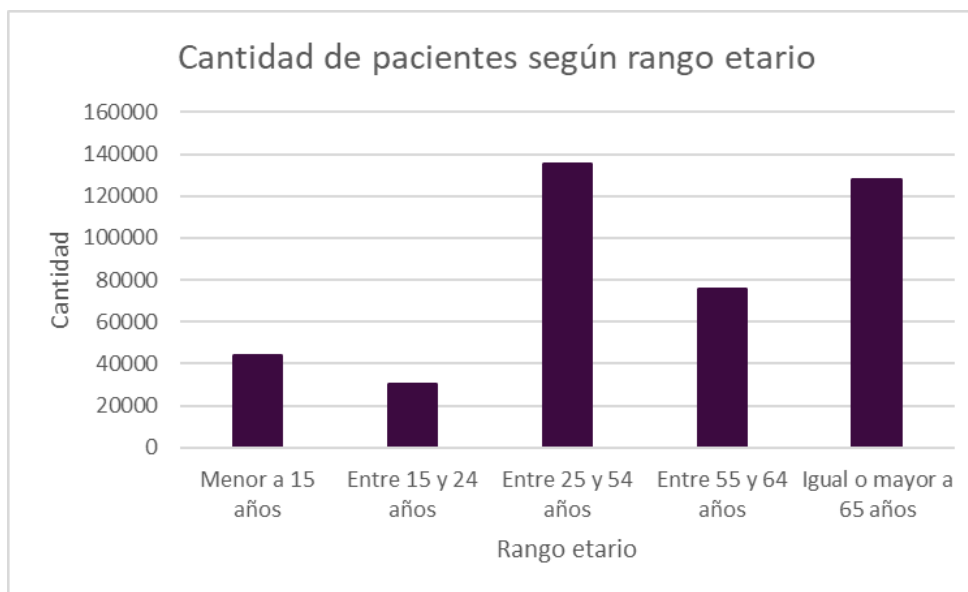


Ilustración 9. Cantidad de pacientes por rango etario. Elaboración propia. Fuente: Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

³⁸ Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) *Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.*

1.3 Problema u Oportunidad Identificada

Uno de los procesos fundamentales del Centro de Imagenología del HCUCH es el análisis de las imágenes por parte del radiólogo de la especialidad pertinente para la posterior realización del informe radiológico. Este proceso toma lugar luego de que el paciente haya llegado al CI, la secretaria le haya tomado los datos y se haya realizado el examen a cargo del Tecnólogo Médico.

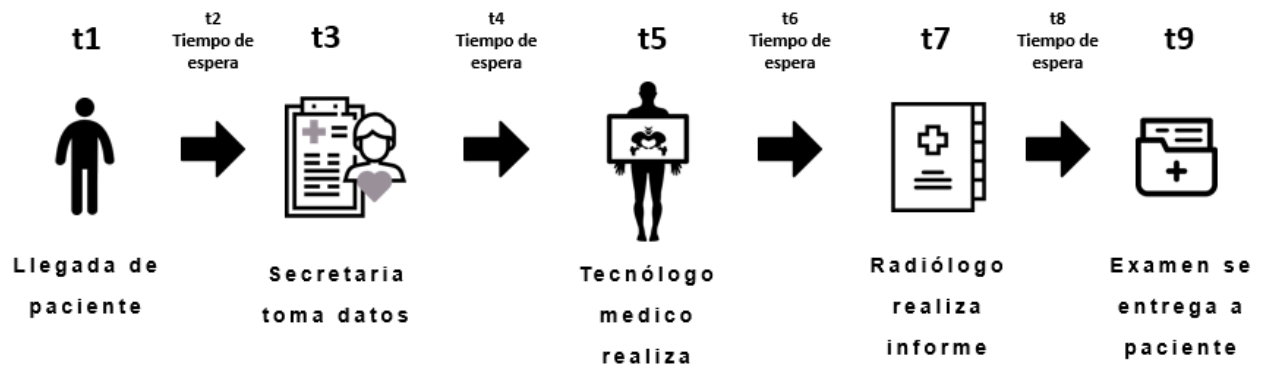


Ilustración 10. Actividades generales del proceso de toma y diagnóstico de imágenes del CI del HCUCH. Elaboración propia.
Fuente: Levantamiento de procesos de la tesista en el CI del HCUCH.

Los pacientes se dividen según el estado de este siendo estos: Hospitalizado (H), Ambulatorio (A) o Ambulatorio Urgente (AU). En particular, se verifica que la mayoría de los pacientes son Ambulatorios, representando el 59% de los pacientes seguidos por los Ambulatorios Urgentes y Hospitalizados con 23% y 18%, respectivamente según los datos obtenidos de la base de datos RIS del Hospital Clínico de la Universidad de Chile desde el año 2013 al 2018³⁹.

³⁹ Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) *Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018*.

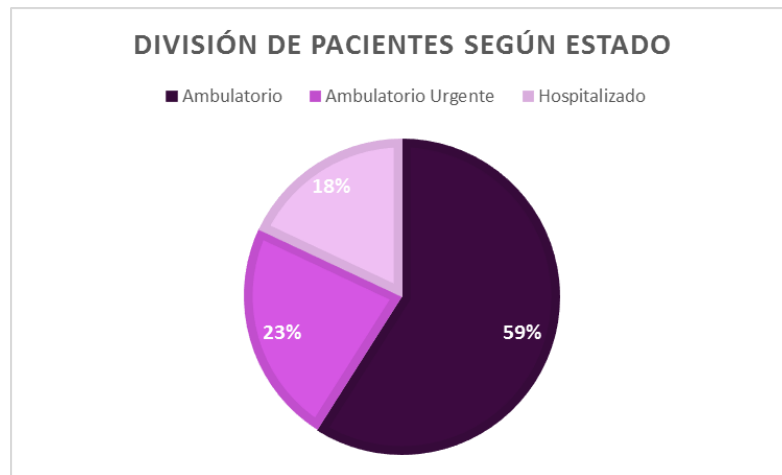


Ilustración 11. División de pacientes según estado. Fuente: Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Según el estado del paciente, se verifica su llegada por hora, en donde se puede notar que el peak de atención se produce entre las 08:00 hasta las 12:00 horas, decayendo de las 13:00 a las 19:00 horas, dejando a los horarios restantes con poca cantidad de pacientes. Al mismo tiempo se nota que los pacientes Ambulatorios Urgentes y Hospitalizados se distribuyen a lo largo del día, en cambio, los Ambulatorios se encuentran en su mayoría desde las 07:00 a las 19:00 horas.

La mayor cantidad de pacientes Ambulatorios se presentan a las 09:00 horas, Ambulatorio Urgente a las 21:00 horas y Hospitalizados a las 11:00 horas.

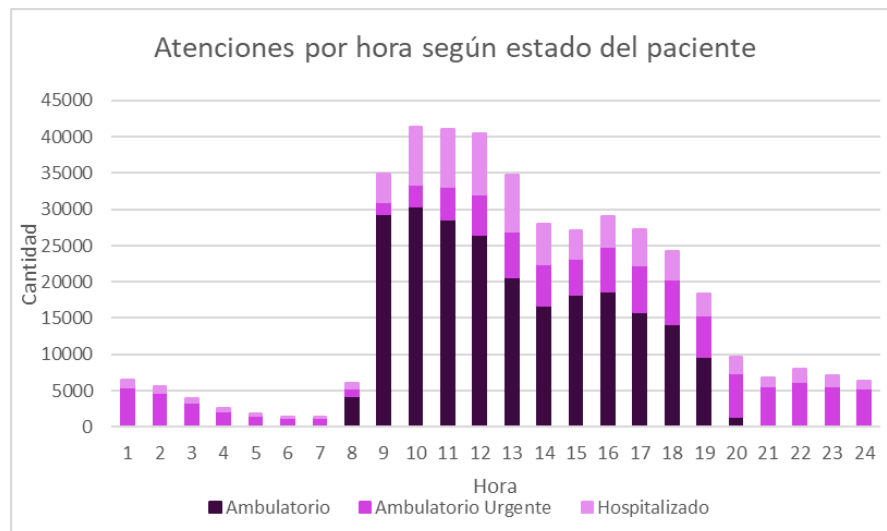


Ilustración 12. Atenciones por hora según estado del paciente. Elaboración propia. Fuente: Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Al mismo tiempo con respecto a la cantidad de pacientes por día según estado se ve que los días de semana poseen mayor asistencia de pacientes que el fin de semana. Se destacan los lunes y martes en donde existe mayor número de pacientes, el cual decae con el pasar de los días.

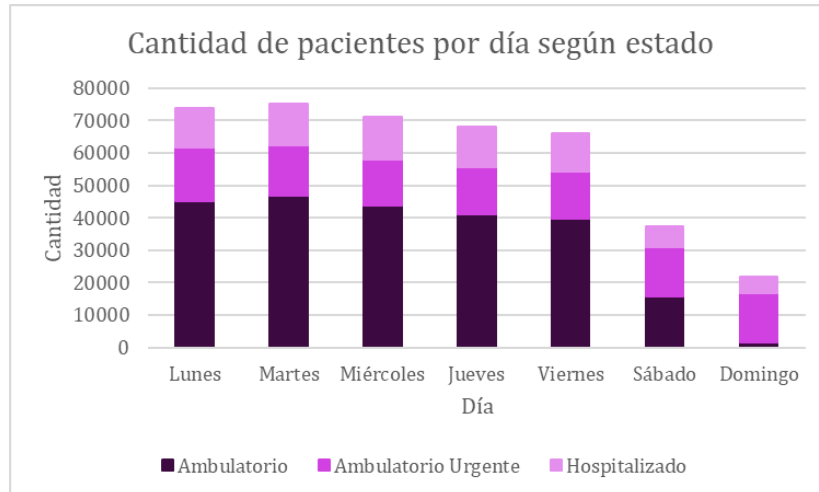


Ilustración 13. Cantidad de pacientes por día según estado. Elaboración propia. Fuente: Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Al mismo tiempo según el estado de los pacientes se ve que los Ambulatorios se concentran en mayor medida en los días de semana disminuyendo los fines de semana, siendo el domingo el día con menor afluencia. Para los pacientes Ambulatorios Urgentes se ve que la distribución es constante a lo largo de la semana, en cambio para los pacientes Hospitalizados se verifica una baja el fin de semana.

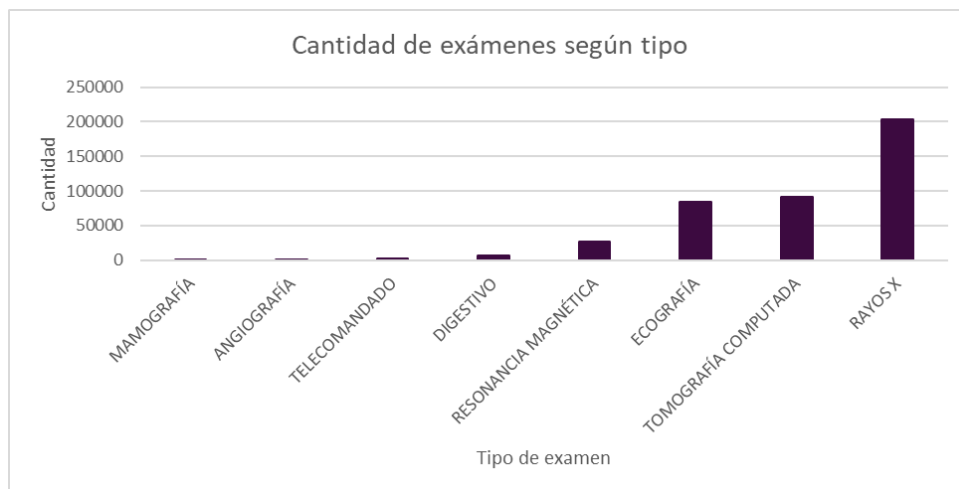


Ilustración 14. Cantidad de exámenes según tipo. Elaboración propia. Fuente: Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Con respecto a los exámenes, se verifica que los cuatro tipos de exámenes que son más demandados son Rayos X, Tomografía Computada, Ecografía y Resonancia Magnética, respectivamente. Al mismo tiempo, agrupando los exámenes según áreas, se verifica que MES, CPO y TRX son las que poseen mayor cantidad de exámenes.

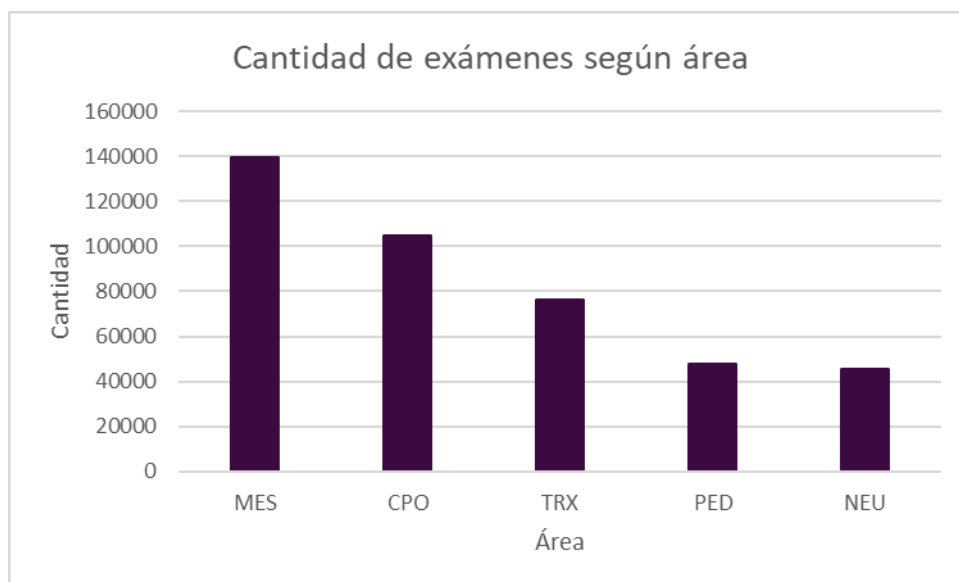


Ilustración 15. Cantidad de exámenes según área. Elaboración propia. Fuente: Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Si los exámenes anteriores se dividen según áreas y tipo de examen, la distribución se verifica que en las áreas que más RX se hacen son en MES, TRX, PED, respectivamente. Al mismo tiempo, las ECO lideran en CPO y MES. Es importante mencionar que tanto las Angiografías como las Mamografías representan el 0,00073% (3 registros en MES) y 0,005% (19 en NEU, 1 en MES y 1 en CPO), respectivamente de la totalidad de los datos es por ello que en el gráfico siguiente no se alcanzarían a apreciar, por ello no se agregaron al mismo.

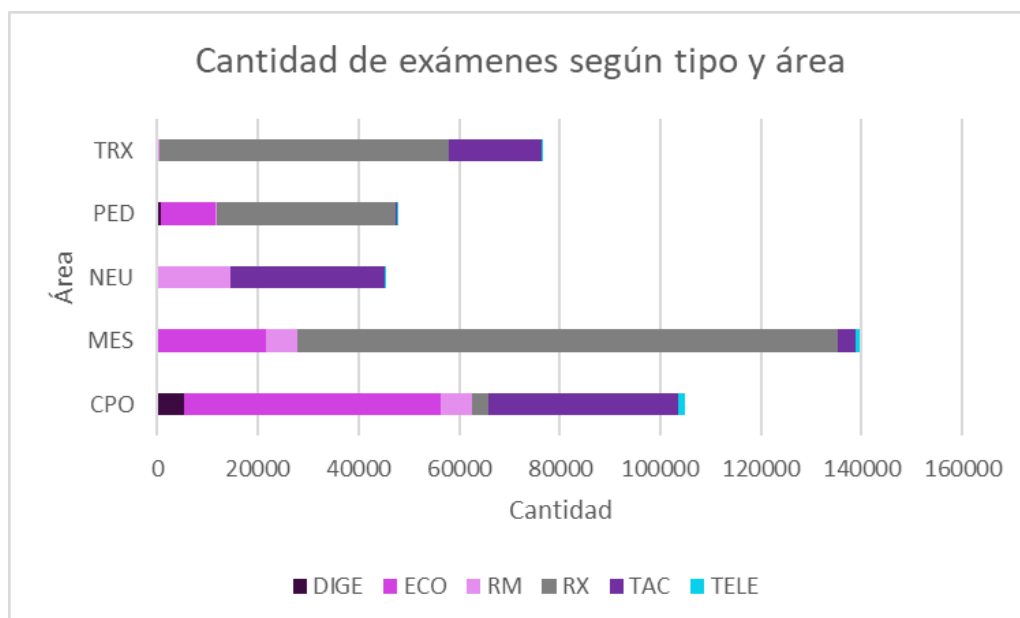


Ilustración 16. Cantidad de exámenes según tipo y área. Elaboración propia. Fuente: Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Luego de que al paciente se le realice el o los exámenes requeridos, los radiólogos comienzan a hacer sus observaciones y diagnósticos para luego plasmarlos en el informe radiológico. El tiempo máximo en el cual debe estar completo el informe es de 48 horas para pacientes Ambulatorios, 24 horas para pacientes Hospitalizados y 2 horas para pacientes urgentes como se puede verificar en la siguiente tabla:

Tabla 1. Protocolo de tiempo máximo de informe radiológico.

Estado del paciente	Tiempo máximo
Ambulatorio	48 horas
Hospitalizado	24 horas
Ambulatorio Urgente	2 horas

Cabe destacar que este tiempo comienza cuando el examen termina de realizarse hasta que el informe radiológico es finalizado como se verifica en la siguiente ilustración:

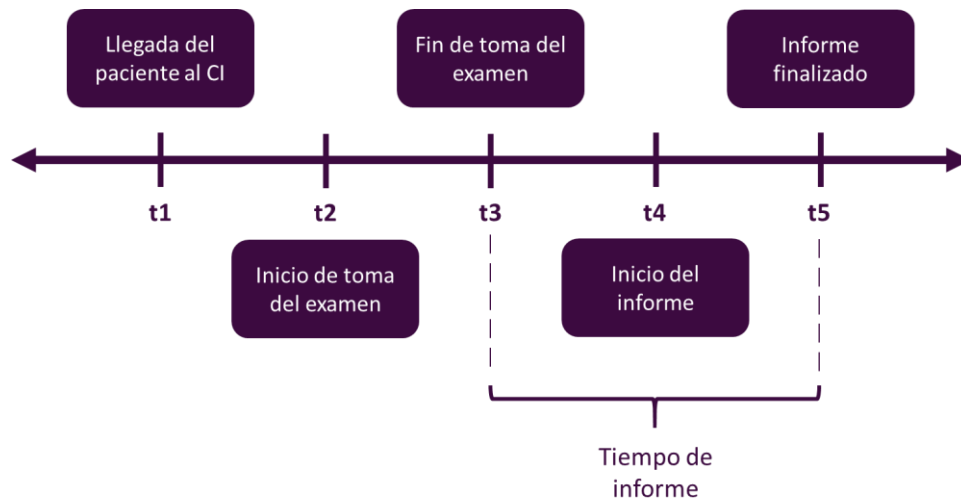


Ilustración 17. Línea de tiempo general del proceso. Elaboración propia.

En particular, el tiempo entre t3 y t4 posee una media de 20,42 horas con una desviación estándar de 80,44 horas, es decir, la dispersión de los datos es muy grande. En el siguiente gráfico, se verifica la distribución de tiempo entre t3 y t4, en donde se puede apreciar que la mediana es 1,61 horas.

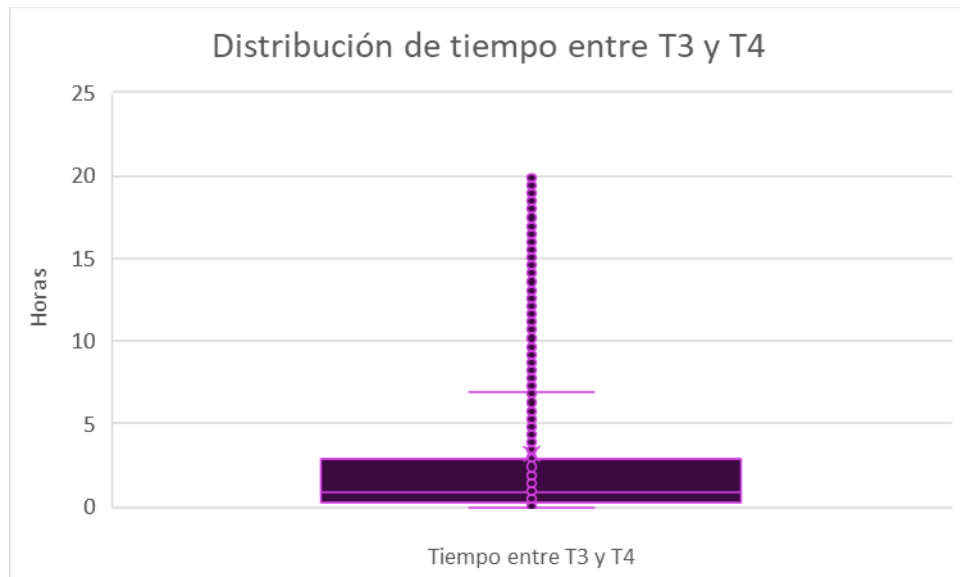


Ilustración 18. Boxplot de distribución de tiempo entre T3 y T4 con una cota superior de 20 horas. Elaboración propia. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Luego, el tiempo entre t4 y t5 posee una media de 11,93 horas con una desviación estándar de 34,58 horas, es decir, nuevamente la dispersión de los datos es muy grande. En el siguiente gráfico, se verifica la distribución de tiempo entre t4 y t5, en donde se puede apreciar que la mediana es 0,57 horas.

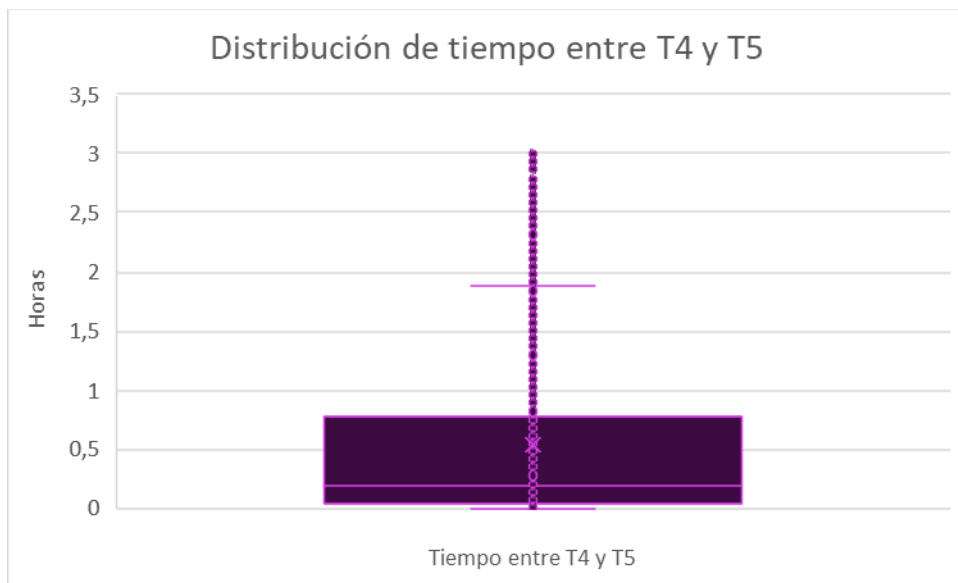


Ilustración 19. Boxplot de distribución de tiempo entre T4 y T5 con una cota superior de 3 horas. Elaboración propia. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Los gráficos anteriores también se analizaron de forma diferenciada por estado del paciente, unidad y tipo de examen. En específico, por estado del paciente entre T3 y T4, se ve una mayor concentración de datos de 0 a 5 horas para Ambulatorio y Ambulatorio Urgente, en cambio para Hospitalizado, se encuentra entre 0 a 10 horas, luego entre T4 y T5 se verifica una distribución de tiempo de 0 a 0,5 horas para Ambulatorio y de 0 a 1 hora para Ambulatorio Urgente y Hospitalizado.

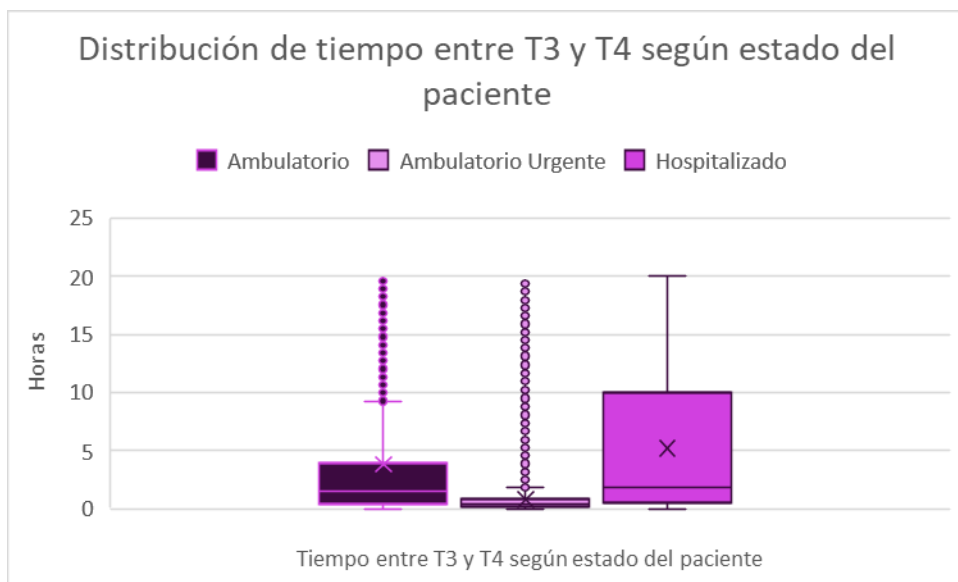


Ilustración 20. Boxplot de distribución de tiempo entre T3 y T4 según estado del paciente con una cota superior de 20 horas. Elaboración propia. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

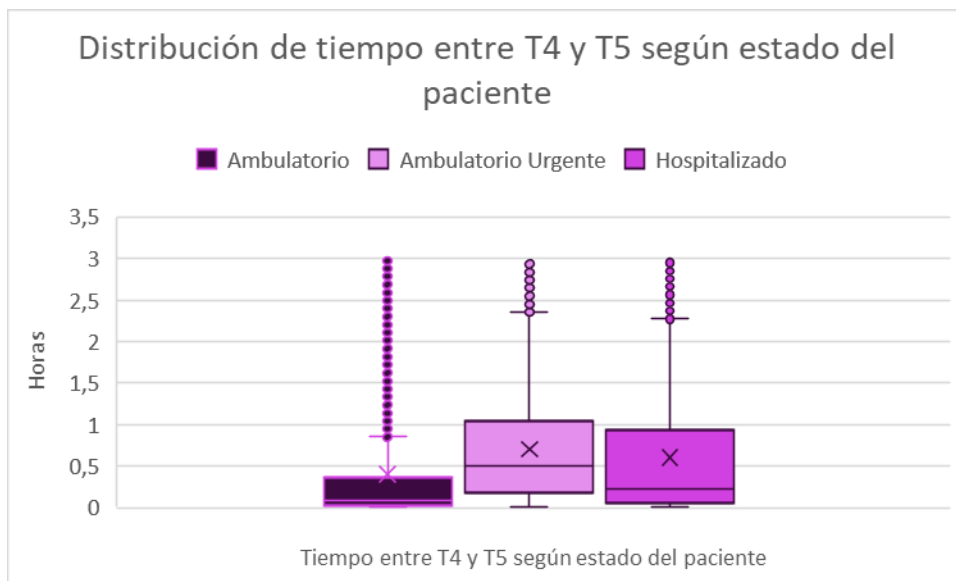


Ilustración 21. Boxplot de distribución de tiempo entre T4 y T5 según estado del paciente con una cota superior de 3 horas. Elaboración propia. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

En cuanto al análisis por unidad entre T3 y T4, se verifica mayor concentración de 0 a 5 horas en todas las unidades, siendo estas en orden de mayor a menor cota superior: Pediatría, Neurorradiología, Tórax, Músculo-esquelético y Cuerpo. En cambio, entre T4 y T5, se ve una distribución menos uniforme, siendo Tórax la unidad con una cota superior mayor de 1,2 horas.

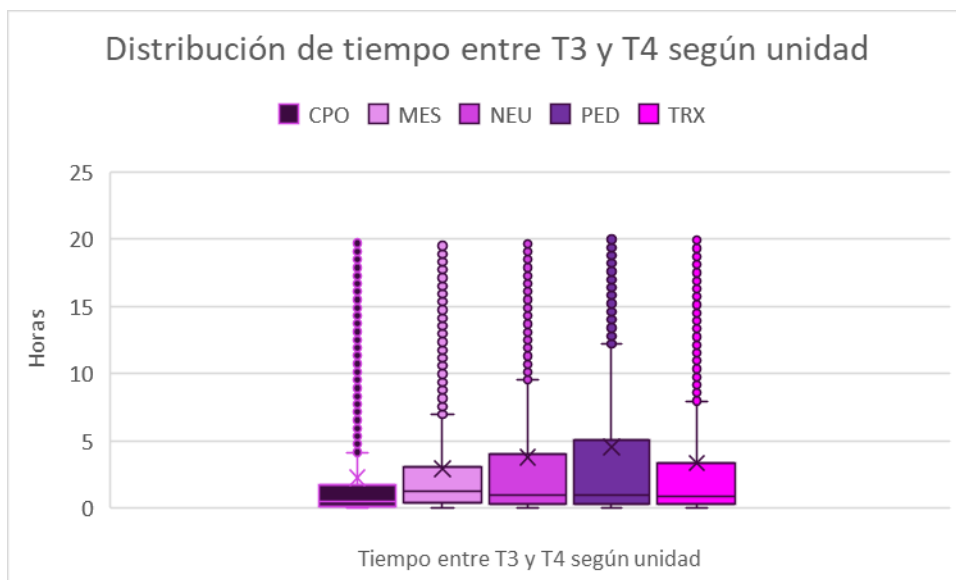


Ilustración 22. Boxplot de distribución de tiempo entre T3 y T4 según unidad con una cota superior de 20 horas. Elaboración propia. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

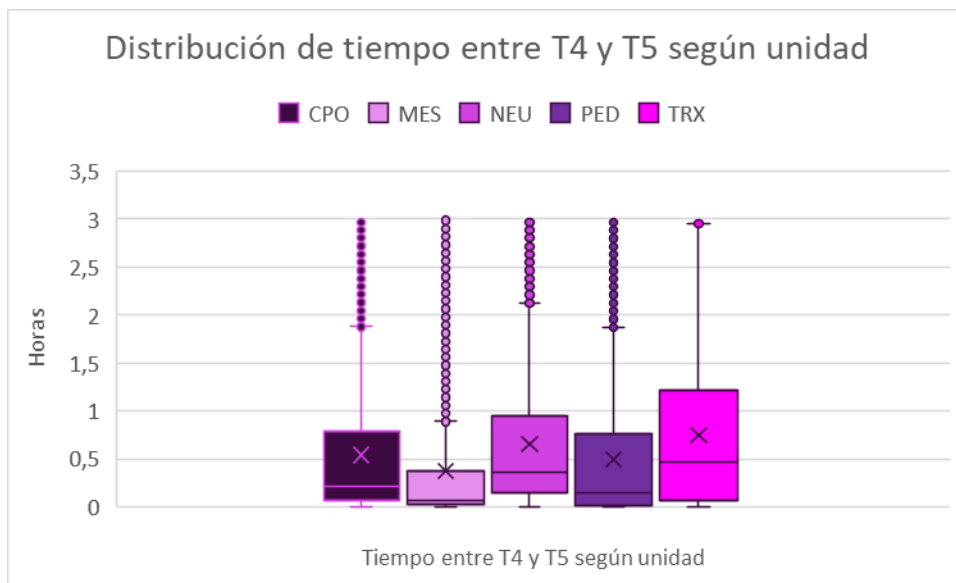


Ilustración 23. Boxplot de distribución de tiempo entre T4 y T5 según unidad con una cota superior de 3 horas. Elaboración propia. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Según tipo de examen se verifica que Resonancia Magnética posee una mayor concentración se encuentra entre 0 a 15 horas, en cambio, Ecografía, Rayos X y Tomografía Computada poseen mayor concentración entre 0 a 5 horas entre T3 y T4. Luego, entre T4 y T5 la mayor concentración se encuentra entre 0 a 1,5 horas liderando Tomografía Computada, seguida por Resonancia Magnética y Rayos X. Cabe destacar que Ecografía siempre posee tiempos bajos debido a su modalidad de tratamiento, ya que este es el único examen que se realiza por parte del mismo Radiólogo y no por el Tecnólogo médico, como en los otros exámenes, por ende, el informe se realiza casi de forma inmediata en la mayoría de los casos.

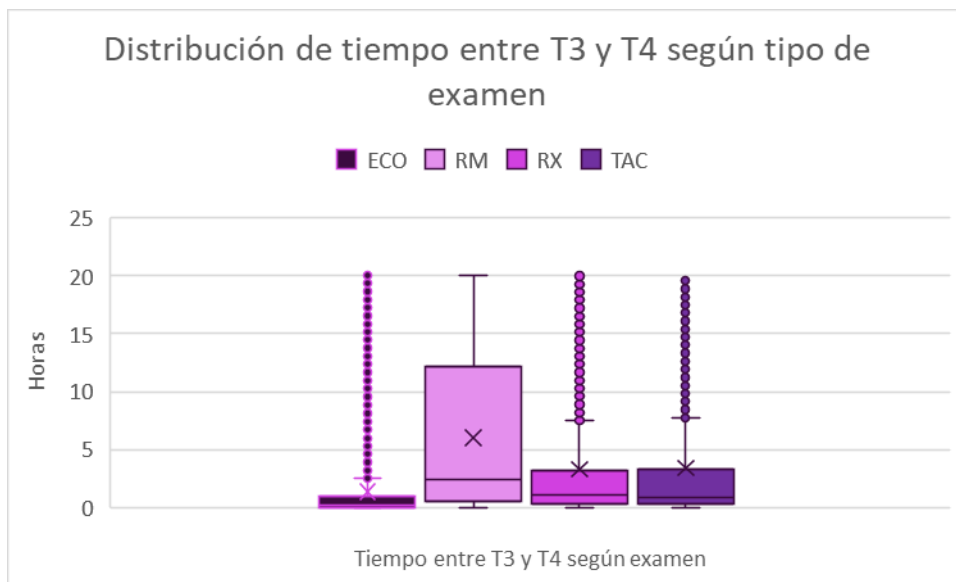


Ilustración 24. Boxplot de distribución de tiempo entre T3 y T4 según tipo de examen con una cota superior de 20 horas. Elaboración propia. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

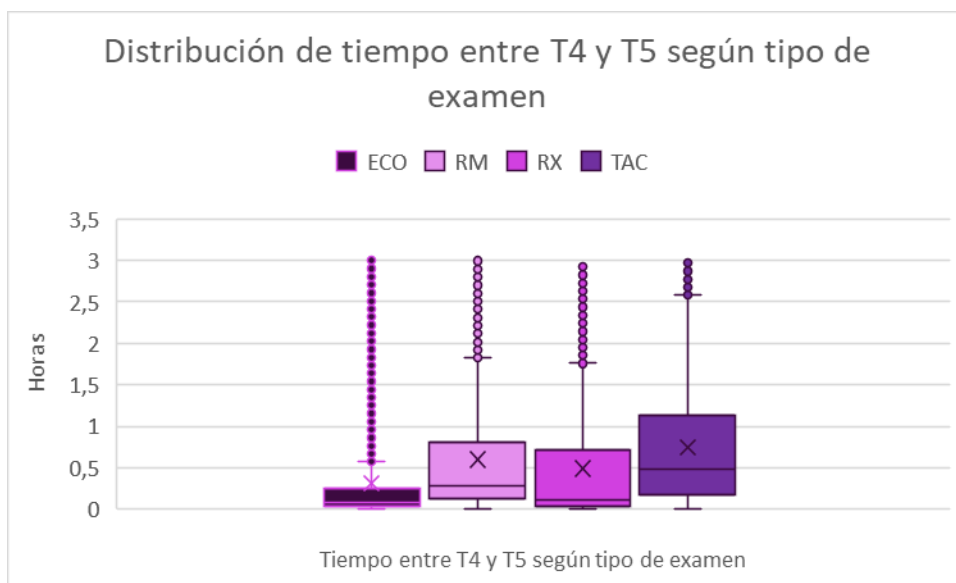


Ilustración 25. Boxplot de distribución de tiempo entre T4 y T5 según tipo de examen con una cota superior de 3 horas. Elaboración propia. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Analizando los registros según el protocolo mencionado anteriormente, se verifica que del total de los exámenes (470.000), el 30% de ellos poseen informes radiológicos atrasados, de ellos un 53% pertenecen a pacientes *Ambulatorios urgentes*, 39% pacientes *Ambulatorio* y 8% pacientes *Hospitalizados*, siendo entonces el problema encontrado la **cantidad de atrasos en informes radiológicos en el Centro de Imagenología del HCUCH**, lo cual causa incumplimiento de protocolos médicos, detención del proceso global del paciente y, por ende, aumento de riesgo en salud del paciente, es decir, el problema afecta tanto de forma estratégica al HCUCH como a sus pacientes.

Al mismo tiempo, se destacan las opiniones tanto de becados como radiólogos del CI del HCUCH, los cuales destacan causas relevantes del problema previamente mencionado, por ejemplo, las interrupciones a las labores que se realizan:

*“Dependiendo de la **demanda diaria** pueden llegar a pedir que realices un **informe rápido** teniendo que dejar **pendiente el trabajo** que estabas haciendo”⁴⁰*

*“En promedio deberían haber alrededor de **cuatro radiólogos y dos becados** en cada área, pero esto **no siempre se cumple durante el día**. Por ejemplo, en*

⁴⁰ Testimonio de Becado de radiología del CI del HCUCH en septiembre de 2019.

Neurorradiología suelen estar todos sus integrantes incluyendo a radiólogos y becados, pero en el resto de las áreas no es así.”⁴¹

“Cada radiólogo/a elige en una sublista los exámenes a diagnosticar dependiendo de diversos puntos, por ejemplo, su estado, pero esa elección es netamente una decisión individual.”⁴²

A continuación, se muestra el árbol de problemas con las causas y efectos de la “Demora en entrega de informes radiológicos en el Centro de Imagenología del HCUCH”, el cual es producto del levantamiento de procesos de la tesista en el CI del HCUCH y validado por Jefe de Unidad de Análisis y Gestión de la Información.

Como causas se presentan:

- **Diferencia de protocolo según examen:** Como se mencionó anteriormente, hay exámenes que difieren de otros por su forma de realizarse, por ejemplo, la Ecografía es el único examen de los estudiados que lo realiza un Radiólogo y no un Tecnólogo médico, por lo que el informe se realiza usualmente minutos después de terminar el examen, lo que provoca una diferencia sustancial entre los datos de este examen como se ve en las Ilustraciones 24 y 25.
- **Ficha clínica incompleta o inexistente:** Lo que deriva en la falta de antecedentes clínicos del paciente y genera retraso a la hora de que el Radiólogo a cargo pueda plasmar el diagnóstico.
- **Equiparar responsabilidades clínicas y docentes:** El HCUCH es un hospital en donde se tienen funciones tanto clínicas como docentes por parte de los Radiólogos con los becados. Esto retrasa la entrega de informes, debido a que los Radiólogos deben enseñar a los becados a realizar informes y luego revisar los informes creados por becados, lo cual provoca atraso en los tiempos y una doble revisión en los informes creados por becados.
- **Estimación de demanda poco clara:** No existe un estudio de demanda ni proyecciones de esta, sólo se basa en conocimiento empírico de los integrantes del CI. Lo anterior deriva en una distribución de becados y de horas radiólogo⁴³ ineficiente, basándose en una distribución histórica, lo cual provoca

⁴¹ Testimonio de Becada de radiología del CI del HCUCH en septiembre de 2019.

⁴² Testimonio de Radiólogo del CI del HCUCH en septiembre de 2019.

⁴³ **Hora radiólogo:** Se define como 1 hora de trabajo de un radiólogo, la cual es cuantificada en el HCUCH en \$30.000, según el Jefe de la unidad de análisis y gestión del HCUCH.

inconsistencias entre las demandas y la cantidad de profesionales disponibles para la creación de informes.

- **Solicitudes a radiólogos:** Usualmente algunos integrantes del cuerpo médico y no médico del CI del HCUCH le realizan solicitudes a los Radiólogos mientras ellos realizan su trabajo, lo cual los retrasa en sus labores. Las solicitudes pueden ser tanto externas como internas. Las solicitudes externas pueden ser sobre la opinión de los radiólogos del CI sobre exámenes propios de otros integrantes del cuerpo médico y no médico, ya que, por ejemplo, no quedaron conformes con el resultado de otro centro médico o para corroborar el diagnóstico. Las solicitudes internas suelen ser en su mayoría del área de Urgencia, en donde los integrantes de esta área van directamente al área Radiológica para pedirles a los Radiólogos que realicen el informe radiológico con urgencia debido al estado del paciente.
- **Intercambio de opiniones de radiólogos de misma unidad:** Usualmente los radiólogos comentan sus diagnósticos con otros colegas para ver segundas opiniones o simplemente para comentar un caso interesante, lo cual, si bien en algunos casos enriquece el diagnóstico, en otros casos retrasa la entrega del informe.

Luego, como consecuencias del problema se verifican:

- **Daño de reputación del HCUCH:** Debido a la entrega tardía del informe, lo que deriva en la preferencia por parte de los pacientes por otros centros médicos y, por ende, disminución de demanda, lo cual no beneficiaría al centro en ningún ámbito.
- **Incumplimiento de misión y visión estratégica del HCUCH:** La misión y visión del HCUCH se centra en entregar el mejor producto/servicio, lo cual se detallará en el Capítulo 3, por ende, si la entrega del servicio es deficiente, no se estaría cumpliendo la estrategia planteada por el Hospital Clínico, lo cual iría en directo desmedro de este y de sus pacientes.
- **Deficiente entrega de servicio al cliente:** Esta consecuencia es una de las más significativas, ya que afecta de forma directa al cliente. Debido a la deficiente entrega del servicio, el paciente puede presentar ansiedad e inconformidad, lo cual podría derivar a largo plazo en disminución de demanda, ya que el paciente no volverá a asistir al HCUCH por esta experiencia. Por otro lado, la entrega deficiente del servicio deriva en frenar el proceso global del paciente, creando incapacidad de tomar decisiones sobre el proceso del paciente a tiempo y el riesgo de salud del paciente.

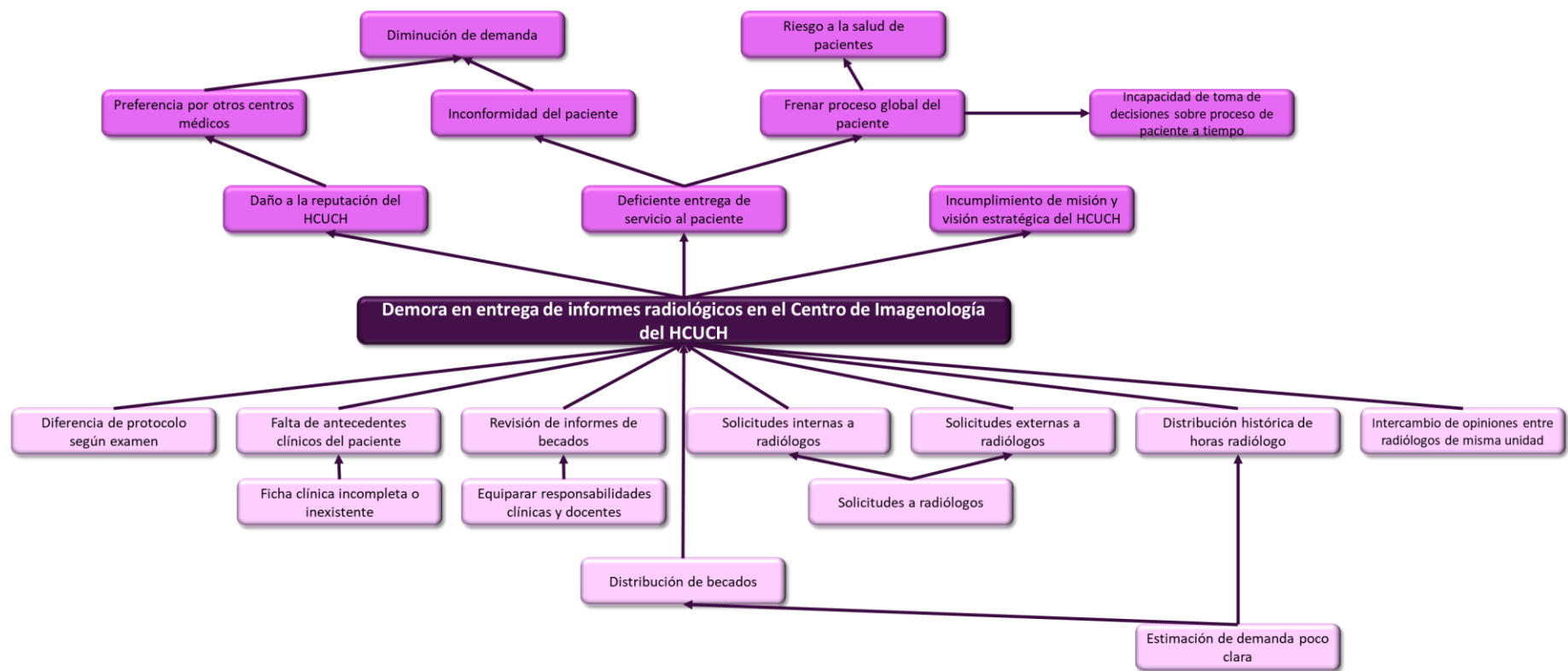


Ilustración 26. Árbol de problemas “Demora en entrega de informes radiológicos en el Centro deImagenología del HCUCH”. Elaboración propia. Fuente: Levantamiento de procesos de la tesista en el CI del HCUCH, validado por Jefe de Unidad de Análisis y Gestión de la Información.

Por lo anterior, se crea el Árbol How, en donde se plantean diversas soluciones y, por ende, diferentes hipótesis:

- **H1:** Supervisar tiempo de informes radiológicos y mejorar distribución de hora radiólogo, disminuirá la cantidad de atrasos en informes radiológicos del Centro de Imagenología del Hospital Clínico de la Universidad de Chile.
- **H2:** Pre-asignar exámenes a radiólogos, disminuirá la cantidad de atrasos en informes radiológicos del Centro de Imagenología del Hospital Clínico de la Universidad de Chile.
- **H3:** Disminuir tiempo de interrupción por consultas anexas, disminuirá la cantidad de atrasos en informes radiológicos del Centro de Imagenología del Hospital Clínico de la Universidad de Chile.
- **H4:** Controlar número de radiólogos, disminuirá la cantidad de atrasos en informes radiológicos del Centro de Imagenología del Hospital Clínico de la Universidad de Chile.

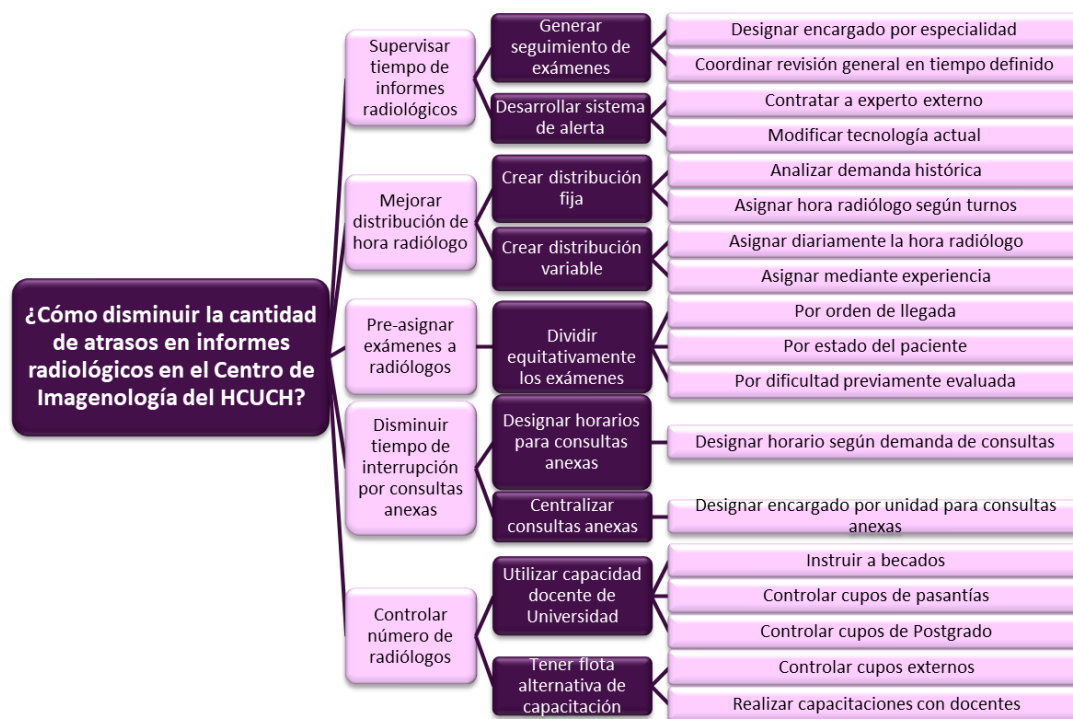


Ilustración 27. Árbol How sobre ¿Cómo disminuir la cantidad de atrasos en informes radiológicos en el Centro de imagenología del HCUCH? Elaboración propia. Fuente: Levantamiento de procesos de la tesista en el CI del HCUCH, validado por Jefe de Unidad de Análisis y Gestión de la Información.

Para analizar las soluciones, se crea una matriz de facilidad de implementación v/s impacto, en donde se verifica que la hipótesis escogida es **H1**, es decir, “Supervisar tiempo de informes radiológicos y mejorar distribución de hora radiólogo, disminuirá la cantidad de atrasos en informes radiológicos del Centro de Imagenología del Hospital Clínico de la Universidad de Chile”, ya que posee alto impacto en el CI del HCUCH y su facilidad de implementación es relativamente alta. El enfoque que se utilizará para llevarlo a cabo es un modelo de asignación utilizado en el área de la salud: Nurse Scheduling Problem (NSP) adaptado para este caso, el cual se procederá a explicar en el Capítulo 2.

Al mismo tiempo, es importante destacar que H2 y H3 no se realizarán, ya que su impacto es bajo en comparación a las otras hipótesis y a su vez la facilidad de implementación es baja.

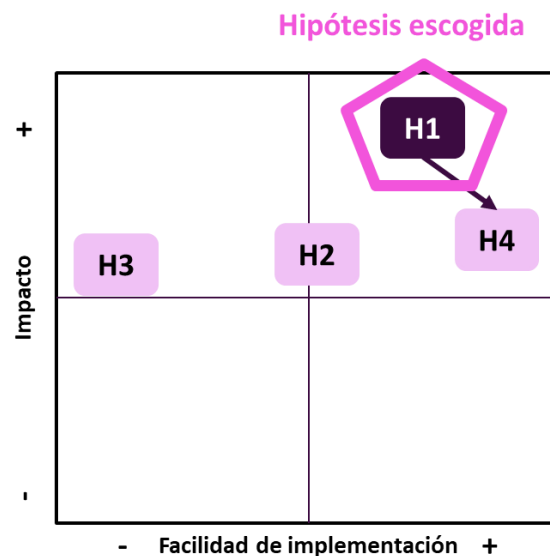


Ilustración 28. Matriz facilidad de implementación v/s impacto. Elaboración propia. Fuente: Levantamiento de procesos de la tesista en el CI del HCUCH, validado por Jefe de Unidad de Análisis y Gestión de la Información.

1.4 Objetivos y Resultados Esperados del Proyecto

1.4.1 *Objetivo General*

Disminuir la cantidad de atrasos de entrega de informes radiológicos en el Centro de imagenología del HCUCH con el fin de mejorar el servicio y entrega de resultados a los pacientes.

1.4.2 *Objetivos Específicos*

1. Analizar y levantar la situación actual del proceso.
2. Desarrollar modelo de asignación para destinar horas radiólogo a turnos específicos según especialidad y demanda dinámica aumentando productividad de Centro de Imagenología.
3. Desarrollar solución tecnológica en donde se implemente el modelo anterior.
4. Ejecutar y evaluar piloto en área de Imagenología del HCUCH.

1.4.3 *Resultados esperados*

1. Levantamiento de la situación actual del proceso.
2. Modelo de asignación para destinar horas radiólogo a turnos específicos según especialidad y demanda dinámica aumentando productividad de Centro de Imagenología.
3. Solución tecnológica en donde se implemente el modelo anterior.
4. Piloto y evaluación de solución tecnológica en área de Imagenología del HCUCH.

1.5 Alcance

El rediseño abordará principalmente el proceso de planificación de la cantidad de horas radiólogo a destinar según especialidad y horario, pudiendo así satisfacer la demanda de informes a entregar disminuyendo los atrasos de estos, para finalmente llegar a realizar un prototipo funcional como piloto para HCUCH en Unidad de Análisis y Gestión de la Información para las áreas de Neurroradiología (NEU), Radiología Cardioraxica (TRX), de Abdomen y Pelvis (CPO), Músculo-esquelética (MES), Radiología pediátrica (PED) en los exámenes de Rayos X (RX), Tomografía Computada (TAC), Resonancia Magnética (RM) y Ecografía (ECO), según corresponda.

Cabe destacar que la razón por la cual las áreas Imágenes de Mama (MAM) y Radiología Intervencional (INT) y, por ende, los exámenes realizados en estas no entran en el análisis, es debido a que sus procedimientos internos difieren en gran medida a las cinco áreas estudiadas, quedando estas como estudios futuros.

Se recalca también que el proceso a intervenir actualmente se hace utilizando la base de datos RIS del Centro de Imagenología del HCUCH desde 2013 al 2018 en conjunto con datos obtenidos en terreno.

Al mismo tiempo es importante mencionar que el usuario del prototipo será el Jefe de la Unidad de Análisis y Gestión del Centro de Imagenología del Hospital Clínico de la Universidad de Chile, ya que el prototipo ayudará a tomar decisiones táctico-estratégicas sobre la distribución de horas radiólogo a largo plazo dentro de los horarios destinados.

1.6 Riesgos Potenciales

- Falta de motivación y/o tiempo de cuerpo médico al momento de colaborar con el presente proyecto, ya sea al momento de designar a un encargado para su ejecución, para ponerlo en marcha u otra actividad relativa al mismo, lo cual provocaría problemas en la realización del proyecto y su eficacia. Ocurrencia media e impacto alto según FMEA. La medida de mitigación sería realizar seguimiento a trabajadores, mostrar beneficio de forma previa y demostrar que será un bien común con resultados positivos para ellos mismos.
- Posible información entregada del HCUCH incompleta o manipulada, provocaría problemas a futuro en posibles conclusiones sacadas por datos. Ocurrencia e impacto medio alto según FMEA. La medida de mitigación sería realizar convenios con HCUCH para evitar lo anterior y posterior a ello realizar revisiones en las bases de datos entregadas anterior a su utilización.
- Cultura organizacional confiada en prácticas y conocimientos anteriores, provocaría que no acepten cambios ni propuestas. Ocurrencia e impacto medio alto según FMEA. La medida de mitigación sería realizar capacitaciones y seguimiento a trabajadores, mostrar beneficio de forma previa y demostrar que será un bien común, también se plantea la entrega de comisiones según áreas y/o de forma individual como incentivo.

Tabla 2: Tabla de riesgos según área calculados con FMEA. Elaboración en conjunto con HCUCH.

Riesgos	Área	Severidad	Ocurrencia	Detección	NPR
Motivación de Radiólogos y Tecnólogos médicos	Cultural/Organizacional	7	5	5	175
Información incompleta o manipulada	Organizacional	6	5	5	150
Resistencia al cambio de trabajadores: Confianza en experiencia	Cultural/Organizacional	8	5	3	120

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

Para la presente tesis se utilizaron diversas metodologías según el campo a analizar, tanto para el área de rediseño en sí, como para la lógica de negocios usada para atacar el problema encontrado mencionado en el capítulo anterior.

Primeramente, se analizó, levantó y rediseñó el proceso mediante la metodología de Ingeniería de Negocios, teniendo en cuenta tanto los procesos genéricos como subprocesos del área en cuestión para luego obtener una visión más detallada con la Ingeniería de Negocios para la Industria de salud, en donde se pudieron apreciar las distinciones para este sector en particular yendo aún más allá de un análisis puro de procesos, sino que involucrando el quehacer diario del cuerpo médico y no médico del HCUCH, incorporando aquí la metodología Lean en salud.

Posteriormente para mejorar el problema de asignación de horas radiólogo, se utilizaron metodologías como los problemas de asignación en una y dos etapas con funciones objetivo simples o múltiples, las cuales permiten entregar mayor énfasis a las restricciones relevantes para el Centro de Imagenología mediante pesos.

Las metodologías mencionadas anteriormente, se detallan a continuación:

2.1 Metodología de Ingeniería de Negocios

La metodología principal utilizada para la realización de esta tesis es la Ingeniería de Negocios, cuyo objetivo es otorgar herramientas que permitan el diseño o rediseño integral del negocio, siendo multidisciplinarios, detallados, integrados y alineados con los intereses de la organización⁴⁴. La Ingeniería de Negocios permite modificar una organización en el nivel que se desee (Estratégico, Táctico y/u Operacional), lo cual genera proyectos con una visión panorámica considerando así las partes y el todo, facilitando los diagnósticos como las propuestas de mejora para lograr una organización competitiva y eficiente como lo señala Barros, O. (2013).

Barros, O. (2009) detalla la importancia de que este diseño sea multidisciplinario, debido a que si una propuesta no se analiza de todas las perspectivas posibles no se

⁴⁴ Barros, O. (2013). Business Engineering and Service Design with Applications for Health Care Institution, Chile: Business Expert Press (Filial McGraw Hill).

podría dar un diagnóstico completo, pudiendo no considerar la estrategia de la empresa, arquitectura, modelo de negocios, procesos, cultura de la organización u otro aspecto relevante, para lo cual Barros (2015) propone el marco conceptual ontológico siguiente:

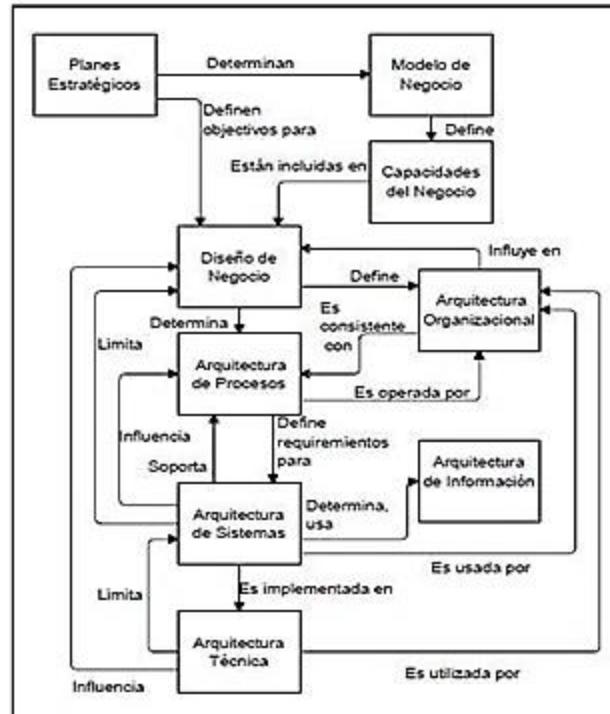


Ilustración 29. Ontología para Diseño de Negocios según Barros, O. (2015).

La Ontología anterior parte desde los Planes Estratégicos los cuales determinan el Modelo de Negocio, Capacidades del Negocio y objetivos estratégicos ocupados en el Diseño de Negocio, gracias a él se puede definir la Arquitectura Organizacional y determinar la Arquitectura de Procesos necesaria para su negocio. Con lo anterior se pueden definir requerimientos para la Arquitectura de Sistemas, la cual será implementada en Arquitectura Técnica y utilizará la Arquitectura de Información que el negocio estime conveniente⁴⁵.

⁴⁵ Barros, O. (2015). *Ingeniería de Negocios: Diseño Integrado de Servicios, sus Procesos y Apoyo TI* (Primera Edición) Chile: MBE.

En general, esta metodología posee pasos jerárquicos y secuenciales⁴⁶, los cuales se detallan a continuación:

- **Planteamiento Estratégico:** Como su nombre lo indica establece el posicionamiento y objetivos estratégicos de la empresa u organización analizada, usualmente se utilizan herramientas como el Modelo Delta⁴⁷.
- **Definición del Modelo de Negocios:** Como se verificó en la Ontología anterior, el Modelo de Negocio es consecuencia tanto del planteamiento y los objetivos estratégicos, lo cual explica su finalidad de materializar estas ideas mediante la segmentación de clientes y la relación con los mismos, la propuesta de valor a entregar mediante los diversos canales y recursos necesarios, sin olvidar las actividades y asociados claves para lograrlo teniendo una estructura de costos y vías de ingreso consistentes. Usualmente se utilizan herramientas como el Modelo Canvas⁴⁸.
- **Diseño de Arquitectura Procesos:** Esta etapa se basa en el Modelo de Negocios previamente definido. En particular la Arquitectura de Procesos consta de un conjunto de macroprocesos enfocados en alcanzar dicho modelo. Usualmente se utilizan patrones de los diversos macroprocesos los cuales se relacionan entre ellos. Cabe destacar que se deben detallar las arquitecturas tanto de la situación actual (AS IS) si es que aplica y del rediseño o situación futura (TO BE). En general, se utilizan los macroprocesos de Óscar Barros y Cristián Julio con notación IDEF0.
- **Diseño Detallado Procesos:** Gracias a la etapa previa, se localiza el proceso a trabajar en cuestión pudiendo detallar las actividades, decisiones y subprocesos y flujos, utilizando usualmente para ello tanto la notación IDEF0 como BPMN⁴⁹ con sus respectivas reglas de notación⁵⁰.
- **Diseño de Aplicación de Apoyo:** Al definir en la etapa anterior los procesos, subprocesos y actividades relevantes, se comienzan a verificar ciertas necesidades de herramientas de apoyo. Estas herramientas deben ser

⁴⁶ Barros, O. (2009). Ingeniería de Negocios, Chile: Business Expert Press (Filial McGraw Hill).

⁴⁷ Hax, A. (2010). *The Delta Model: Reinventing your business strategy*, Estados Unidos: Springer.

⁴⁸ Osterwalder, A. & Pigneur, Y. (2010). *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*, Canadá: John Wiley & Sons, Ltd.

⁴⁹ Bizagi (2020). Bizagi Modeler: Guía de usuario. Recuperado de http://download.bizagi.com/docs/modeler/3300/es/Modeler_manual_del_usuario.pdf.

⁵⁰ White, S. & Miers, D. (2009). BPMN: Guía de referencia y modelado, Estados Unidos: Future Strategies Inc.

diseñadas en esta etapa usualmente utilizando diagramas definidos por Unified Modeling Language (UML)⁵¹.

- **Construcción e Implementación:** En esta etapa final se construyen e implementan todos los pasos previamente diseñados o rediseñados, ya sean modelos, arquitecturas o procesos con el apoyo de las aplicaciones descritas con anterioridad⁵².

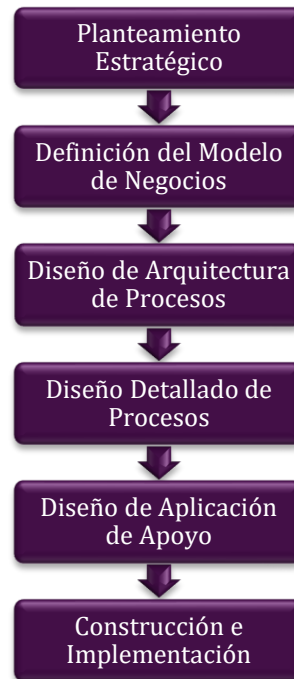


Ilustración 30. Metodología Ingeniería de Negocios según Barros, O. (2009).

Al mismo tiempo, se verifica que los patrones y metodologías mencionadas por Barros, O. (2010), si bien son aplicables a cualquier industria, hay algunas consideraciones particulares en ciertos sectores industriales, por ejemplo, para la Industria de la Salud, de la cual se habla en la presente tesis, Barros, O. (2013) ha escrito y creado patrones específicos en donde toma en cuenta las necesidades de la industria.

En específico, como lo detalla Barros, O. (2009), existen procesos que son necesarios para implementar capacidades y el diseño que un negocio requiere. Ellos poseen relaciones que los coordinan, las cuales dependen de su nivel de correlación es por ello que para guiar y facilita su análisis, se usan patrones que están basados en la

⁵¹ Stiller, E. & LeBlanc, C. (2010). Object-Oriented Software Engineering: A Project Based Approach, Estados Unidos: Scott-Jones, Inc.

⁵² Barros, O. (2012). Ingeniería de Negocios: Diseño integrado de negocios, procesos y aplicaciones TI (Quinta Edición), Chile: Universidad de Chile.

experiencia e investigación de diseño de procesos, ya sea en casos reales o adaptados.

Los patrones mencionados anteriormente se agrupan en Macroprocesos transversales a cualquier organización, los cuales poseen flujos, requerimientos y relaciones, distinguiendo así los siguientes como lo señala Barros, O. (2009):

- **Macroproceso 1 o Cadena de Valor:** Este macroproceso contempla todos los procesos que ejecutan la producción de bienes y/o servicios, abarcando desde que los clientes envían requerimientos hasta su satisfacción. Destacando la relación con proveedores y clientes para poder satisfacer sus necesidades, generando así valor. Debido a que las organizaciones pueden tener más de una línea de negocio, pueden existir más de un macroproceso 1.

- **Macroproceso 2:** Todos los procesos que desarrollan nuevas capacidades en la empresa para que esta se mantenga competitiva y vigente. Cabe destacar que aquí se puede hablar de nuevos productos, nuevos servicios, mejores capacidades de infraestructura y tecnológicas, innovación e incluso nuevos Modelos de Negocios.

- **Macroproceso 3:** Todos los procesos que se centran en la planificación del negocio, es decir, los que definen el futuro estratégico de la organización, concretando así los objetivos, planes y/o programaciones que actúan como controles de los otros macroprocesos.

- **Macroproceso 4:** Todos los procesos de apoyo que administran los recursos para que los Macroprocesos anteriores funcionen. Entre ellos se encuentran los recursos financieros, materiales, humanos e infraestructura.

Los cuatro Macroprocesos anteriormente mencionados se relacionan entre sí según Barros, O. (2009) como sigue:

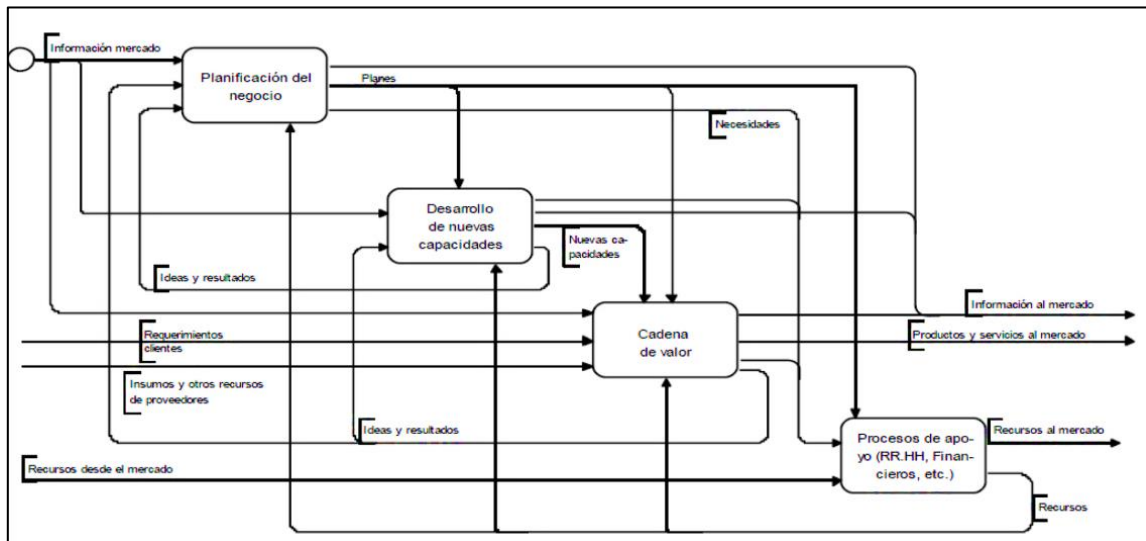


Ilustración 31. Arquitectura de Macroprocesos según Barros, O. (2009).

A su vez, se verifican los subprocesos de los macroprocesos anteriores, los cuales se proceden a detallar a continuación⁵³:

- **Gestión:** Estos procesos rigen el desarrollo de los de Ejecución mediante requerimientos externos o clientes e internos o controles, pudiendo establecer objetivos y planificaciones para asignar recursos, generando así mecanismos de control.
- **Ejecución:** Se refiere a los procesos encargados de crear productos y/o servicios, los cuales generan valor para los clientes externos e internos de la organización, satisfaciendo así sus requerimientos.
- **Mantenimiento de Estado:** Estos procesos y actividades retroalimentan la información actualizada con respecto a su estado y del macroproceso en general.

⁵³ Barros, O. (2015). *Ingeniería de Negocios: Diseño Integrado de Servicios, sus Procesos y Apoyo TI* (Primera Edición) Chile: MBE.

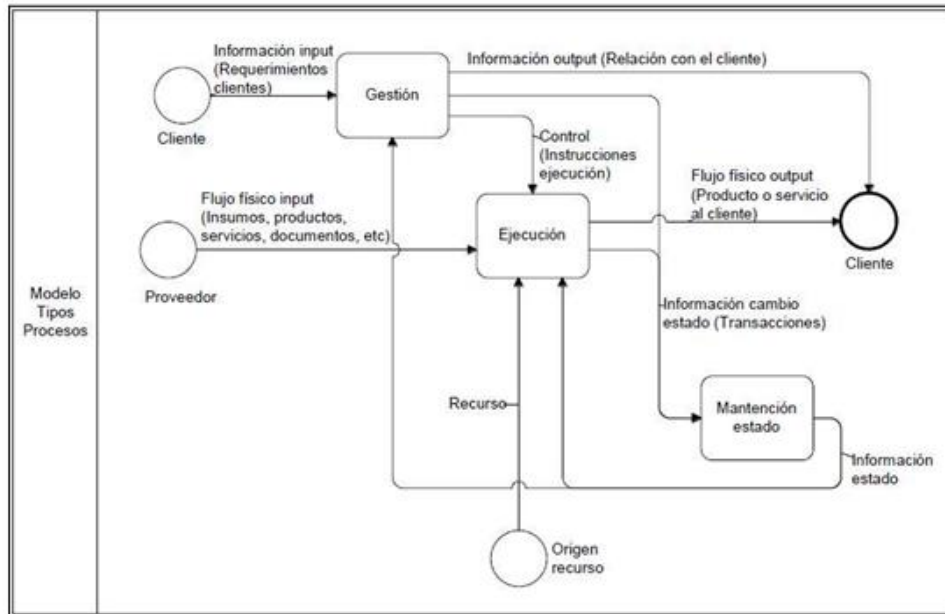


Ilustración 32. Estructura interna de Macroprocesos según Barros, O. (2015).

Según Barros, O. & Julio, C. (2010), las organizaciones, se pueden categorizar según la forma en que se relacionan y operan las cadenas de valor existentes teniendo así:

- Empresas que tienen sólo una cadena de valor del tipo Macroproceso 1.
- Empresas que tienen varias cadenas de valor que operan de manera independientes. Esta configuración es llamada Diversificación.
- Empresas que tienen varias cadenas de valor que operan de manera independiente, pero que comparten ciertos servicios centrales. Esta configuración es llamada Coordinación y Replicación.
- Empresas que tienen varias cadenas de valor, que comparten varios de sus servicios internos y que también comparten servicios centrales. Esta configuración es llamada Unificación.

2.2 Metodología Lean para salud

Esta metodología se centra en los usuarios, en este caso pacientes, pudiendo mejorar el servicio entregado eliminando tareas o actividades que no agregan valor. Los pasos utilizados son:

- **Identificar a los usuarios y las percepciones de valor añadido:** Cada paciente espera algo del servicio de salud al cual asiste, por ende, si estas características se presentan, las valorará positivamente al momento de encontrarlas. Por lo anterior, es necesario conocer a los pacientes, sus características y necesidades, pudiendo entregar así un servicio que entregue valor agregado y los pacientes vuelvan en un futuro.
- **Identificación del mapa de transmisión de valor:** Como se explicó en el capítulo anterior, las macros representan los procesos genéricos del centro de salud, los cuales varían levemente en el tiempo, es por ello que es importante verificar algunos procesos y subactividades que sean ineficientes, ya que así la propuesta de valor y la forma de transmitirla mejora, pudiendo entregar un mejor servicio.
- **Crear flujos eliminando los despilfarros:** Gracias al rediseño de procesos y a la gestión logística, se pueden encontrar procesos en donde se estén desperdiciando recursos, ya sean materiales, humanos, entre otros. Gracias a lo anterior, es fundamental eliminar este desperdicio, pudiendo así crear flujos más eficientes y potenciados.
- **Organización basada en el paciente:** Eliminando actividades duplicadas, demoras innecesarias y otros procesos que no contribuyen a la cadena de valor, se entrega un mejor servicio a los pacientes como se vio en los puntos anteriores, focalizando el servicio en las necesidades de este.
- **Mejora continua:** Este es el objetivo de la metodología enfocada en salud, es decir, cada falla o “desperdicio” que se encuentre, puede contribuir a la mejora del proceso completo teniendo un horizonte a largo plazo pudiendo avanzar a la eficiencia mediante acciones individuales, teniendo en cuenta que el establecimiento de salud es un todo y que cada acción en cada área repercute de una u otra forma.

2.3 Lógica de negocios

2.3.1 Problema de asignación

En el marco del modelamiento y optimización de problemas de programación lineal, se verifican diversas categorías que los agrupan dependiendo de los objetivos y necesidades⁵⁴.

En particular, la división de problemas de asignación trata de encontrar la forma óptima de asignar recursos a ciertas tareas usualmente al menor costo, teniendo en cuenta que cada tarea es ejecutada por un solo recurso y que a cada recurso se le asigna sólo una tarea disponible⁵⁵. Aunque la función objetivo, definición de recursos y tareas pueda cambiar dependiendo del problema a resolver, la estructura general del problema no varía sustancialmente, siendo la formulación general entregada por Chaudhuri, S., & Walter, R. A. (1995) como se ve a continuación:

- **Conjuntos:**
 - I: Conjunto de tareas i.
 - J: Conjunto de recursos j.
- **Parámetro:**
 - c_{ij} : Costo de realizar la tarea i con el recurso j.
- **Variable de decisión:**
 - $x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{Si la tarea i se hace con el recurso j.} \\ 0, & \text{Si no.} \end{cases}$
- **Función objetivo y restricciones:**

$$\text{Mín} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{s.a.} \quad \sum_{i \in I} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (4)$$

Ecuación 1. Formulación general de problema de asignación según Chaudhuri, S., & Walter, R. A. (1995).

⁵⁴Brucker, P. (2007). *Scheduling Algorithms*. Recuperado de http://www.math.nsc.ru/LBRT/k5/Scheduling/BruckerSchedulingAlgorithms_Full.pdf

⁵⁵ Chaudhuri, S., & Walter, R. A. (1995). *High level synthesis: Introduction to scheduling problems*.

En la formulación anterior en (1) se plantea la función objetivo, la cual consta de minimizar los costos de todas las asignaciones realizadas sujeta a las restricciones (2) y (3), las cuales modelan las condiciones sobre que a cada recurso se le asigna sólo una tarea disponible y cada tarea es ejecutada por un solo recurso, respectivamente. Finalmente, en (4) se verifica la naturaleza binaria de la variable de decisión x_{ij} .

Usualmente los problemas de asignación, al ser un caso particular de los problemas de transporte⁵⁶, se pueden modelar como grafos dirigidos⁵⁷ de la forma $G(V,A)$, en donde V es el conjunto de nodos y A es el conjunto de arcos que une a estos nodos. En particular, los nodos representarían los recursos y tareas, luego los arcos representarían las relaciones entre estos nodos.

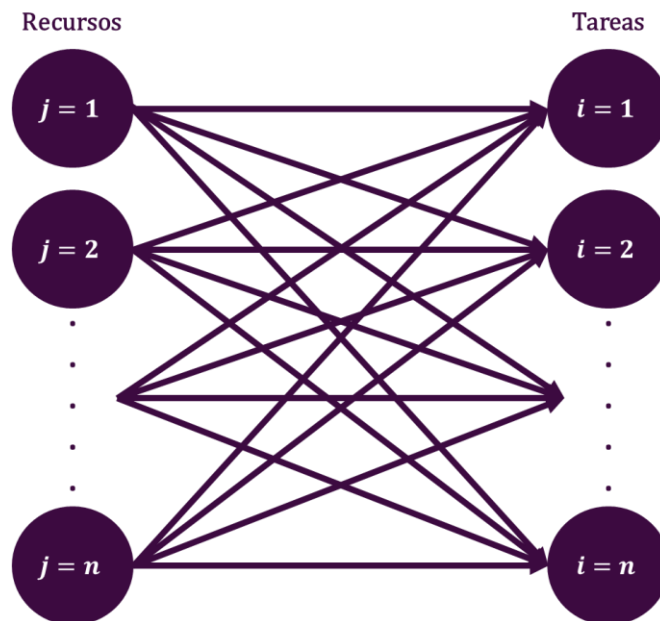


Ilustración 33. Grafo dirigido $G(V,A)$ de problema genérico de asignación. Elaboración propia.

Es importante mencionar que este tipo de algoritmo puede ser usado en diversas áreas si se le agregan las restricciones específicas de cada caso según Brucker, P. (2007). Algunos ejemplos de sectores en los que se han utilizado han sido industrial, salud, transporte, educación, entre otros.

⁵⁶Osorio, M. (2019). *Apunte IN3701: Modelamiento y Optimización*. Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile.

⁵⁷Focacci, F., Laborie, P. & Nuijten, W. (2000) *Solving Scheduling Problems with Setup Times and Alternative Resources*. Recuperado de <https://www.aaii.org/Papers/AIPS/2000/AIPS00-010.pdf>

2.3.1.1 Problemas de asignación en área de salud

2.3.1.1.1 Problema de asignación de enfermeras o Nurse scheduling problem (NSP)

Un ejemplo de aplicación del problema de asignación estudiado en el sector de salud es el problema de asignación de enfermeras (NSP), el cual encuentra la forma óptima de asignar enfermeras a turnos siguiendo restricciones duras y blandas⁵⁸. Las restricciones duras corresponden a aquellas que, si no se cumplen, el problema resulta infactible, en cambio las restricciones blandas son aquellas que tienen más flexibilidad en este ámbito, es decir, es preferible que se cumplan, pero si no, no necesariamente el problema será infactible (Burke, E.K., De Causmaecker, P. Vanden Berghe, V. & Van Landeghem H., 2004).

Debido a división de restricciones, existen diversas definiciones del problema general según las necesidades y objetivos para los que se ocupe. A continuación, se presenta la formulación general del problema más utilizada ⁵⁹:

- **Conjuntos:**
 - I: Conjunto de enfermeras i.
 - K: Conjunto de horizontes o períodos de asignación k.
 - S: Conjunto de turnos s.
 - s_1 : Turno de día.
 - s_2 : Turno de tarde.
 - s_3 : Turno de noche.
 - s_4 : Turno libre.
- **Parámetro:**
 - $F: \{0,1\}^{IxKS} \rightarrow Z$: Función lineal para el disgusto de las enfermeras por turno.
 - $G: \{0,1\}^{IxKS} \rightarrow Z$: Función exponencial para la deuda del hospital según sobre/falte personal.
 - H_{ks} : Mínimo cubrimiento requerido del hospital.
 - $\lambda \in [0,1]$: Peso de interés de enfermeras.
- **Variable de decisión:**
 - $D_{iks} = \begin{cases} 1, & \text{Si la enfermera } i \text{ trabaja el día } k \text{ en el turno } s. \\ 0, & \text{Si no.} \end{cases}$
- **Función objetivo y restricciones:**

⁵⁸ Burke, E.K., De Causmaecker, P. Vanden Berghe, V. & Van Landeghem H. (2004). *The state of the art of nurse rostering*. Journal of Scheduling 7;441-499.

⁵⁹ Augustine, L., Faer, M., Kavountzis, A. & Patel, R. (2009). A Brief Study of the Nurse Scheduling Problem (NSP). Recuperado de http://www.math.cmu.edu/~af1p/Teaching/OR2/Projects/P23/ORProject_Final_Copy.pdf

$$\begin{aligned} \text{Mín } \lambda * F\left(\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} D_{iks}\right) + (1 - \lambda) \\ * G\left(\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} D_{iks}\right) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{Restricción dura} \quad \sum_{i \in I} D_{iks} \geq H_{ks} \quad \forall k \in K, s \in S \quad (2)$$

$$\text{Restricción dura} \quad D_{iks_3} + D_{ik+1s_1} \leq 1 \quad \forall i \in I, k = 1, \dots, K - 1 \quad (3)$$

$$\text{Restricción dura} \quad \sum_{s \in S} D_{iks} = 1 \quad \forall i \in I, k \in K \quad (4)$$

$$\text{Restricción blanda} \quad D_{iks_4} + D_{ik+1s_4} + D_{ik+2s_4} \leq 2 \quad \forall i \in I, k = 1, \dots, K - 2 \quad (5)$$

$$\text{Restricción blanda} \quad \sum_{j=k}^{k+6} D_{ijs} \leq 7 \quad \forall i \in I, k = 1, \dots, K - 6 \quad (6)$$

$$D_{iks} \in \{0,1\} \quad (7)$$

Ecuación 2. Formulación de problema de asignación de enfermeras según Augustine, L., Faer, M., Kavountzis, A. & Patel, R. (2009).

En la formulación anterior se modela el problema de la asignación de enfermeras en cuatro turnos específicos (mañana, tarde, noche y libre) con tres restricciones duras (2, 3 y 4), dos restricciones blandas (5 y 6) y una restricción de naturaleza de variable la cual es binaria en este caso (7).

En específico, las restricciones duras en este caso presentan aspectos tanto del hospital como de las enfermeras, por ejemplo, que el horario generado por el problema deba ser mayor a la cobertura mínima que requiere el hospital (2) como también que una enfermera que trabajó un turno de noche no trabaje un turno de mañana al día siguiente (3) y que sólo trabaje un turno diario (4). Luego las restricciones blandas presentan condiciones sobre días libres y máximo de días seguidos trabajados, por ejemplo, que el máximo de días libres seguidos sea a lo más dos (5) y que cada enfermera no trabaje más de siete días seguidos (6).

Cabe destacar que las distribuciones de F y G pueden ser reemplazados por datos empíricos o simulaciones del mismo proceso (Augustine, L., Faer, M., Kavountzis, A. & Patel, R., 2009) para luego realizar comparaciones entre los valores óptimos y los simulados, llegando así a resultados más cercanos a la realidad.

2.3.2 Estado del arte

La presente tesis también posee bases en el estado del arte de diversos rediseños de procesos realizados tanto en el área de Radiología de otros hospitales como otras áreas médicas alrededor del mundo las cuales poseían problemas de horario entre sus integrantes médicos tales como enfermeras de diversas especialidades en conjunto con problemas de costo y tiempo. Entre la literatura revisada, se destacan las siguientes:

1. Dowsland, K. & Aickelin, U. (2004) *An indirect Genetic Algorithm for a nurse-scheduling problem*⁶⁰

En este estudio se describen los Algoritmos Genéticos (GA⁶¹) como herramienta para analizar y potenciar el algoritmo de asignación de enfermeras (NSP⁶²) en un caso real de un hospital del Reino Unido. Los GA utilizados funcionaron de forma satisfactoria para problemas similares teniendo en cuenta las limitaciones entre la función objetivo y las restricciones. En específico, se utiliza la permutación de enfermeras y una heurística para la asignación de las permutaciones creadas. En conclusión, se ocupan datos reales para evaluar los modelos híbridos mencionados con anterioridad los cuales poseen un buen rendimiento debido a que disminuyen el tamaño del problema y, por ende, la solución es más fácil de encontrar.

2. Hendrik, V., Jeroen, B. & Barbosa-Póvoaa, A. (2018) *Integrated staff scheduling at a medical emergency service: An optimisation approach*⁶³

El documento plantea la dificultad de aplicación y restricciones según las diversas instituciones proponiendo así la formulación de programación entera como solución para la asignación de personal en los servicios médicos de emergencia. Al momento de probar la programación entera en diversos escenarios reales pudieron encontrar resultados que, si bien eran útiles, no llegaban a satisfacer las restricciones que se pedían y su resultado final no era el esperado. Por lo anterior se deciden probar heurísticas de buceo y VNDS, las cuales entregan resultados más cercanos a la realidad que la programación entera en diversas instancias con diferentes dimensiones. Finalmente, el modelo se aplica a un caso en el Instituto Nacional de Emergencias Médicas de Portugal para luego comparar los resultados con los horarios implementados en el día a día en donde se nota una mejora significativa sobre la programación manual ayudando a futuro a tomar decisiones a nivel gerencial.

⁶⁰ Dowsland, K. & Aickelin, U. (2004) *An indirect Genetic Algorithm for a nurse-scheduling problem*.

⁶¹ Genetic Algorithm.

⁶² Nurse Scheduling Problem.

⁶³ Hendrik, V., Jeroen, B. & Barbosa-Póvoaa, A. (2018) *Integrated staff scheduling at a medical emergency service: An optimisation approach*.

3. Jan, A., Yamamoto, M & Ohuchi, A. (2002) *Evolutionary algorithms for nurse scheduling problem*⁶⁴

En esta investigación se presenta el problema de asignación de enfermeras o NSP, el cual es un problema de optimización multiobjetivo de alta dificultad, ya que sopesa las preferencias tanto del hospital o institución como de las enfermeras o personal médico en sí. El presente documento se centra en investigar las dificultades que ocurren durante la solución del NSP usando algoritmos evolutivos. Un algoritmo que se utilizó fue el Algoritmo Genético Cooperativo (CGA⁶⁵) sin población, debido a que hay que lidiar simultáneamente con las restricciones duras y blandas. Finalmente se considera que el uso de un solo algoritmo no es suficiente para su comparación, por ende, se agrega un operador de escape con el cual los resultados mejoran, pero no satisfacen la eficiencia del problema.

4. Kawanaka, H., Yamamoto, K., Yoshikawa, T., Shinogi, T. & Tsuruoka, S. (2001) *Genetic algorithm with the constraints for nurse scheduling problem*⁶⁶

El presente documento se centra en analizar el NSP y Algoritmos Genéticos en general con sus ventajas y desventajas, incluyendo consejos para su implementación. En específico, se presentan ventajas en la formulación según restricciones blandas y duras como también en su gran alcance debido a que es multiobjetivo. Las desventajas se centran en la codificación y difícil visualización de datos para los cuales se proponen utilizar tanto herramientas de visualización como algoritmos genéticos para intercambiar turnos y así satisfacer las restricciones de codificación y luego las operaciones genéticas. Finalmente se prueba que en casos reales las tablas y resultados son eficientes en la vida diaria y para planificación de alta gerencia.

5. Michelon, P., Ferland, J. & Berrada, I. (1996) *A Multi-objective Approach to Nurse Scheduling with both Hard and Soft Constraints*⁶⁷

En esta investigación se revela la importancia del NSP en diversas áreas de la salud, teniendo en cuenta las restricciones duras y blandas, ya que mejora la calidad de los especialistas de la salud, lo cual está altamente relacionado con la calidad de entrega de esta como con la calidad de los reclutados. Finalmente, se destaca la importancia de las funciones con objetivos múltiples diferenciadas por pesos, ya que eso lo hace un modelo flexible para tratar en diversas áreas y situaciones como se muestra en los casos ejemplo de la investigación.

⁶⁴ Jan, A., Yamamoto, M & Ohuchi, A. (2002) *Evolutionary algorithms for nurse scheduling problem*.

⁶⁵ Cooperative Genetic Algorithm.

⁶⁶ Kawanaka, H., Yamamoto, K., Yoshikawa, T., Shinogi, T. & Tsuruoka, S. (2001) *Genetic algorithm with the constraints for nurse scheduling problem*.

⁶⁷ Michelon, P., Ferland, J. & Berrada, I. (1996) *A Multi-objective Approach to Nurse Scheduling with both Hard and Soft Constraints*.

6. Mohsen, B., Ali, G. & Azra, I. (2016). *An application of stochastic programming method for nurse scheduling problem in real word hospital*⁶⁸

La presente investigación se centra en la utilización de un NSP resuelto mediante optimización estocástica en el Departamento de Cirugía del Corazón en el Hospital Razavi. El caso anterior se muestra como un ejemplo complejo debido a la vaguedad de la información sobre los objetivos de gestión en el establecimiento, las diversas preferencias de las enfermeras, incertidumbres de demanda y el período de estadía de los pacientes a lo largo del tiempo. Para resolver lo anterior se utiliza el método de aproximación promedio de muestra (SAA⁶⁹), el cual minimiza los costos de asignación regulares y de horas extras, incluyendo modelos estadísticos que validan el modelo.

7. Nai-Chun Ping-Shun Chen, Ying-Jie Lin & Nai Peng (2016). *A two-stage method to determine the allocation and scheduling of medical staff in uncertain environments*⁷⁰

El presente estudio se centra en la asignación integrada del personal médico y un problema de programación del personal en entornos inciertos. Para resolver lo anterior se plantea un problema integrado mediante un algoritmo de dos etapas basado en la programación de objetivos en donde se determina el personal médico mínimo requerido para cumplir la demanda y así crear un horario funcional. En la primera etapa se verifica el personal médico mínimo para el peor caso posible para luego en la segunda etapa tomar esa información y construir un horario mensual del personal médico mediante restricciones blandas y duras con el proceso de jerarquía analítica (AHP) para poder determinar la penalización de las restricciones. Esta investigación se realiza en un Centro de imágenes médicas, teniendo a tecnólogos radiológicos como el personal médico a estudiar. Los resultados demuestran que el método propuesto es eficiente y válido en la realidad como también flexible, ya que a nivel de alta gerencia se pueden escoger los horarios más convenientes según diversas restricciones. Un resumen de los pasos a seguir del estudio se puede ver en la siguiente ilustración:

⁶⁸ Mohsen, B., Ali, G. & Azra, I. (2016). *An application of stochastic programming method for nurse scheduling problem in real word hospital.*

⁶⁹ Sample Average Approximation.

⁷⁰ Nai-Chun Ping-Shun Chen, Ying-Jie Lin & Nai Peng (2016). *A two-stage method to determine the allocation and scheduling of medical staff in uncertain environments.*

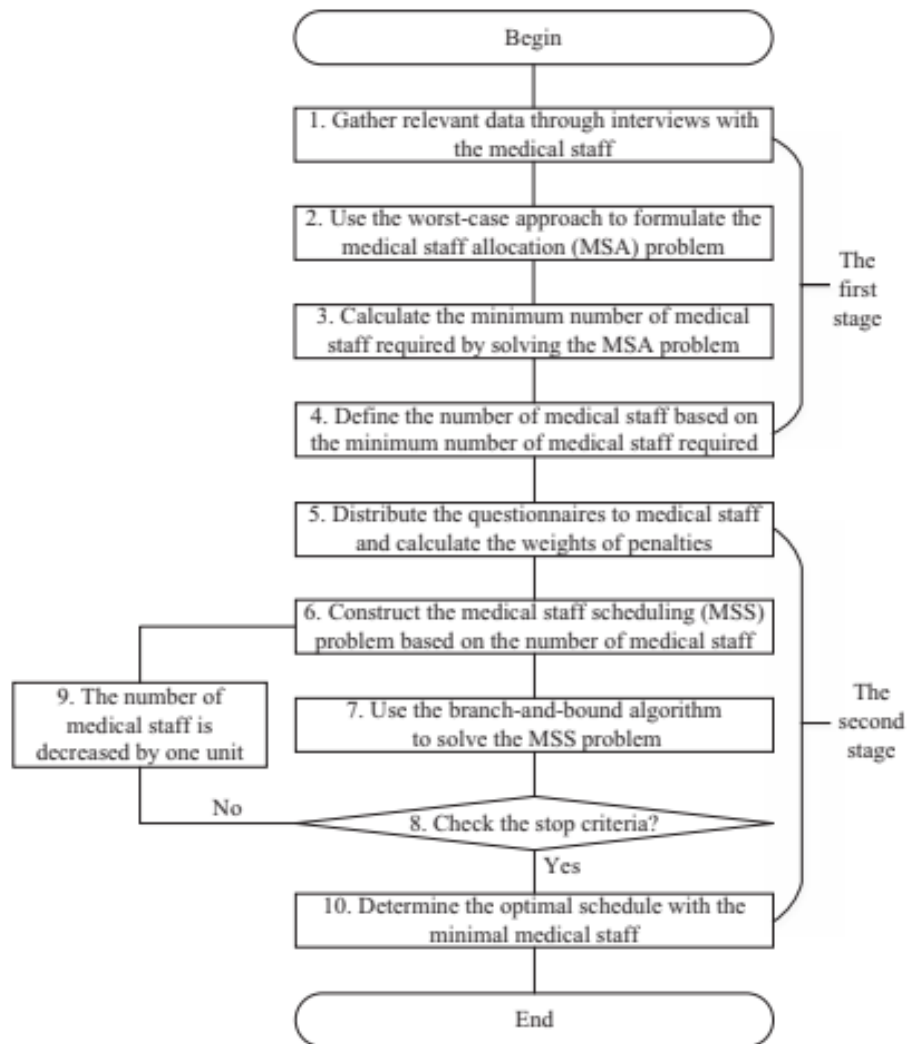


Ilustración 34. Procedimientos a realizar para modelo de dos etapas de Nai-Chun Ping-Shun Chen, Ying-Jie Lin & Nai Peng (2016).

8. Parr, D. & Thomson, J. (2007) *Solving the multi-objective nurse scheduling problem with a weighted cost function*⁷¹

El objetivo principal de este documento es resolver el NSP con función multiobjetivo, la cual utiliza una función de costos ponderado con los pesos de la importancia de cada objetivo. Pero usualmente las ponderaciones son complicadas de obtener ya sea por incertidumbre misma de las preferencias o por la discrepancia del valor a nivel estratégico. Por lo anterior, se comparan dos métodos para resolver este sistema, ello son SAWing y Noising, finalmente se llega a la conclusión que el método Noising produce mejores horarios.

⁷¹ Parr, D. & Thomson, J. (2007) *Solving the multi-objective nurse scheduling problem with a weighted cost function.*

9. Rath, G., Pierskalla, W. & Miller, H. (1976) *Nurse Scheduling Using Mathematical Programming*⁷²

En este documento se presenta el estudio del NSP en donde se verifica el balance en la función multiobjetivo de las restricciones duras y blandas. El problema se resuelve mediante el algoritmo cíclico coordinado el cual se aplica a un caso real en un hospital en donde se comparan los horarios resultantes del algoritmo y los horarios que se hacían de forma manual o por experiencia de los integrantes de las unidades de salud.

10. Ravindran, A. & Arthur, J. (2007) *A Multiple Objective Nurse Scheduling Model*⁷³

En este estudio se presenta el NSP en dos etapas. En la primera etapa, las enfermeras se asignan con patrones binarios a cada día por un horizonte de dos semanas, luego de ello en la segunda etapa se definen las restricciones y características necesarias para su resolución, la cual se entregará en turnos dentro del horizonte de tiempo. Las ventajas del procedimiento anterior se remiten principalmente en la reducción de tamaño del problema obteniendo así una solución con menos esfuerzo.

11. Schlenker, H. & Abdennadher, S. (1999) *Nurse Scheduling using Constraint Logic Programming*⁷⁴

En este estudio se presenta una investigación sobre NSP en donde se verifican regulaciones y deseos del personal médico, regulaciones legales, entre otros. Lo anterior presenta dificultades tanto en el tamaño del problema y, por ende, en el tiempo de resolución, por lo que se utilizan diversos modelos de inteligencia artificial, los cuales entregan resultados con menos dificultades que con otros modelos ayudando a reducir el tamaño del problema.

12. Thompson, J. & Dowsland, K. (2000) *Solving a nurse scheduling problem with knapsacks, networks and tabu search*⁷⁵

Esta investigación se realiza en un hospital del Reino Unido en donde se utilizan una heurística moderna en conjunto con dos modelos de programación entera para encontrar una solución al NSP, ya que para el tamaño del problema y las restricciones existentes ninguna por sí sola era capaz de resolverlo. El resultado de utilizar los modelos anteriores combinados, es decir, problema de la mochila, flujos y caminos en conjunto con tabu search, es positivo, ya que entrega horarios solución que mejoran la asignación del caso real.

⁷² Rath, G., Pierskalla, W. & Miller, H. (1976) *Nurse Scheduling Using Mathematical Programming*.

⁷³ Ravindran, A. & Arthur, J. (2007) *A Multiple Objective Nurse Scheduling Model*.

⁷⁴ Schlenker, H. & Abdennadher, S. (1999) *Nurse Scheduling using Constraint Logic Programming*.

⁷⁵ Thompson, J. & Dowsland, K. (2000) *Solving a nurse scheduling problem with knapsacks, networks and tabu search*.

13. Tsaia, C. & Lib, S. (2009) *A two-stage modeling with genetic algorithms for the nurse scheduling problem*⁷⁶

El documento desarrolla un modelo de dos etapas para un NSP, en donde las restricciones duras incluyen los requisitos de gestión hospitalaria, las regulaciones gubernamentales y las preferencias de turno del personal de enfermería. En la primera etapa, se utilizan algoritmos genéticos (GA) para crear horarios en donde se cumplan las restricciones duras. En la segunda etapa se utiliza el GA para resolver el horario óptimo. Se estudia un caso empírico en donde se prueba que GA es una herramienta útil para este tipo de casos.

14. Vovor, T., Semet, F. & Jaumard, B. (1998) *A generalized linear programming model for nurse scheduling*⁷⁷

En la presente investigación se realiza un modelo de generación de columnas 0-1 con un problema auxiliar de ruta más corta con recursos limitados para el NSP, luego de ello se definen nuevos recursos para el problema auxiliar teniendo en cuenta las restricciones duras y blandas. Se llega a la conclusión que esta formulación se ocupa principalmente para resultados generales y no para horarios específicos, es por ello que se ocupa para problemas de alta cantidad de datos en donde sólo es relevante el esquema general del problema y no los resultados e indicadores específicos.

15. White, P. & Aickelin, U. (2004) *Building Better Nurse Scheduling Algorithms*⁷⁸

Esta investigación posee dos objetivos, el primer es modelar y resolver un problema complejo de NSP con formulación entera, el segundo es construir modelos con métodos estadísticos y de comparación. Este último captura los resultados de algoritmos en un solo modelo que luego se puede comparar utilizando técnicas estadísticas tradicionales. Finalmente, este logra llegar a un óptimo incluso cuando algunos resultados no son numéricos o son inviables.

16. Wong, T.C. & Xu, M. (2014) *A two-stage heuristic approach for nurse scheduling problem: A case study in an emergency department*⁷⁹

En este estudio se propone un sistema de dos etapas de forma heurística para el NSP el cual se basará en una hoja de cálculo. Este sistema se prueba en un departamento de emergencias local en donde se inicia con un cronograma que satisface las restricciones

⁷⁶ Tsaia, C. & Lib, S. (2009) *A two-stage modeling with genetic algorithms for the nurse scheduling problem.*

⁷⁷ Vovor, T., Semet, F. & Jaumard, B. (1998) *A generalized linear programming model for nurse scheduling*

⁷⁸ White, P. & Aickelin, U. (2004) *Building Better Nurse Scheduling Algorithms.*

⁷⁹ Wong, T.C. & Xu, M. (2014) *A two-stage heuristic approach for nurse scheduling problem: A case study in an emergency department.*

duras, luego de ello en la segunda etapa se emplea el algoritmo de búsqueda local secuencial para mejorar los horarios iniciales teniendo en cuenta las restricciones suaves. Finalmente, se generar cronogramas satisfactorios con mayor facilidad de uso debido a que se hace en una hoja de Excel, por ende, los resultados contemplan una gran facilidad de uso para los usuarios no expertos en optimización o ciencias de la computación como también aumento de las restricciones debido a trabajar con tiempos y medidas más específicas como las que posee el departamento de emergencias. El algoritmo que se encuentra luego de la planificación, como se ve en la siguiente ilustración, representa el corazón del paper, dejando de lado el proceso el detalle de los otros procesos:

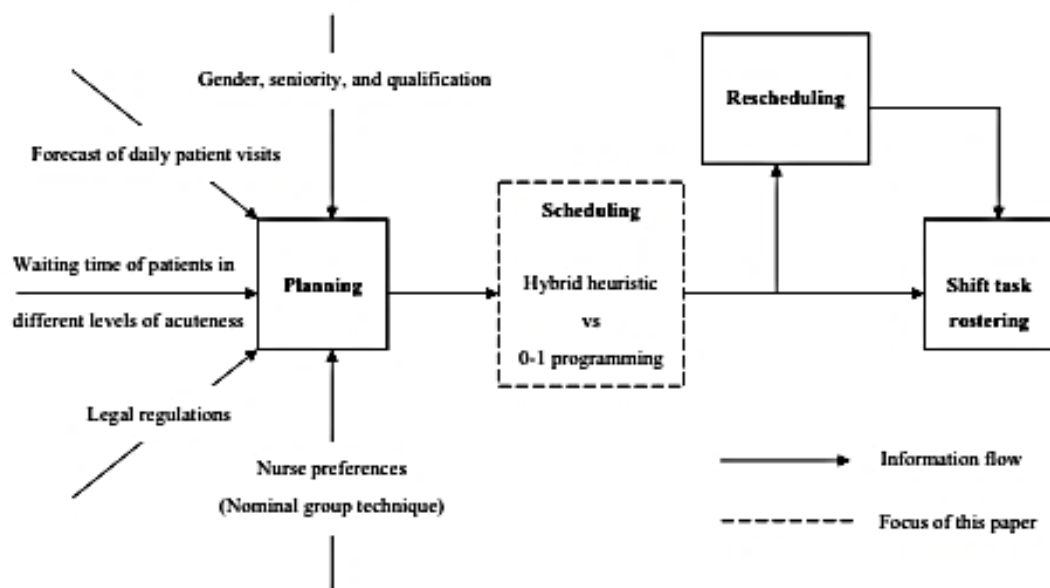


Ilustración 35. Aplicación del modelo de asignación de enfermeras al rediseño de Wong, T.C. & Xu, M. (2014).

A continuación, se presenta la matriz comparativa del estado del arte y tesis propia, en la cual se eligen las características siguientes:

- **Rediseño de procesos asociados:** Se refiere a los rediseños/diseños de procesos asociados a la situación que el paper desarrolla, destacando como una característica extra que entrega valor y aporta a la realización del algoritmo creado. Cabe destacar que la presente tesis es el único que lo presenta en comparación a los demás papers del estado del arte.
- **Reducción de tamaño del problema:** Esta característica demuestra la cantidad de variables y/o restricciones que posee el algoritmo, las cuales a medida que aumentan, también lo hacen la complejidad y tiempo del problema. Esta característica la poseen tres de los dieciséis papers principales del estado del

arte, es decir, un 18,75%. Cabe destacar que es la única característica que no posee la tesis, debido a que la cantidad de variables y restricciones no genera problemas al momento de ser procesados por el algoritmo, por ende, no necesita un tratamiento previo de reducción de tamaño.

- **Aplicación en caso real:** Se refiere a la utilización del o de los algoritmos propuestos en un caso real para su posterior evaluación y comparación entre los resultados con y sin algoritmo, lo cual permite verificar la precisión de los resultados obtenidos y así permitir mejorarlo a futuro. Esta característica la posee la presente tesis como también nueve de los dieciséis papers principales del estado del arte, es decir, un 56,25%.
- **Algoritmo de dos etapas:** Esta característica hace referencia a la creación o utilización de un algoritmo de optimización que posea dos etapas de realización, es decir, que primer se ejecute un algoritmo de preparación o tratamiento de datos y luego se ejecute un algoritmo que resuelva el problema principal. Esta característica la posee la presente tesis como también seis de los dieciséis papers principales del estado del arte, es decir, un 37,5%.
- **Algoritmo multiobjetivo:** Se refiere a que la función objetivo del algoritmo posea dos o más objetivos con diversa ponderación o pesos entregados como parámetros de forma previa. Esta característica la posee la presente tesis como también cuatro de los dieciséis papers principales del estado del arte, es decir, un 25%.
- **Entrega informe final de resultados, parámetros y restricciones principales:** Esta característica hace referencia a la entrega de un informe final al cliente luego de la ejecución del algoritmo, el cual contiene los resultados, parámetros ocupados y restricciones principales utilizadas. Es importante mencionar que el informe se presenta tanto en pantalla como en formato descargable para una posterior revisión y toma de decisiones. Cabe destacar que la presente tesis es el único que lo presenta en comparación a los demás papers del estado del arte.
- **Vista amigable para el usuario:** Se refiere a la importancia de crear una forma amigable de relacionarse con el usuario, por ejemplo, si se crea una aplicación que contenga como lógica de negocios al algoritmo, entonces la vista de esta debe ser fácil de usar para el usuario como también el formato de archivos que debe rellenar, por ejemplo, una hoja de Excel. Esta característica la posee la presente tesis como también uno de los dieciséis papers principales del estado del arte, es decir, un 6,25%.

Tabla 3. Estado del arte y tesis propia. Elaboración propia.

		Aspectos						
		Rediseño de procesos asociados	Reducción de tamaño del problema	Aplicación en caso real	Algoritmo de dos etapas	Algoritmo multiobjetivo	Entrega informe final de resultados, parámetros y restricciones principales	Vista amigable para el usuario
D o c u m e n t o s	Tesis propia	X		X	X	X	X	X
	An indirect Genetic Algorithm for a nurse-scheduling problem		X	X				
	Integrated staff scheduling at a medical emergency service: An optimisation approach			X				
	Evolutionary algorithms for nurse scheduling problem					X		
	Genetic algorithm with the constraints for nurse scheduling problem			X		X		
	A Multi-objective Approach to Nurse Scheduling with both Hard and Soft Constraints			X				
	An application of stochastic programming method for nurse scheduling problem in real word hospital			X				
	A two-stage method to determine the allocation and scheduling of medical staff in uncertain environments			X	X			
	Solving the multi-objective nurse scheduling problem with a weighted cost function					X		
	Nurse Scheduling Using Mathematical Programming			X		X		
	A Multiple Objective Nurse Scheduling Model		X		X			
	Nurse Scheduling using Constraint Logic Programming		X					
	Solving a nurse scheduling problem with knapsacks, networks and tabu search			X				
	A two-stage modeling with genetic algorithms for the nurse scheduling problem				X			
A generalized linear programming model for nurse scheduling				X				
Building Better Nurse Scheduling Algorithms				X				
A two-stage heuristic approach for nurse scheduling problem: A case study in an emergency department			X	X			X	

Cabe destacar que la presente tesis se basa principalmente en los papers de Nai-Chun Ping-Shun Chen, Ying-Jie Lin & Nai Peng (2016) y Wong, T.C. & Xu, M. (2014) mencionados con anterioridad debido a sus buenos resultados y parecidos al caso de estudio de la tesis.

En particular, del primer paper⁸⁰ se destaca el desarrollo del algoritmo en un caso real, entendiendo su procesamiento en dos etapas para mejores resultados. En cambio, en el segundo paper⁸¹, si bien hace alusión a las dos características anteriores, destaca su preocupación por el usuario de la plataforma, el cual no necesariamente debe ser experto en optimización, por lo cual entrega una hoja de Excel para su fácil comprensión.

Las características anteriormente mencionadas de cada paper, son utilizadas como base para la presente tesis tomando en cuenta tanto los detalles del algoritmo como la vista del usuario.

⁸⁰ Nai-Chun Ping-Shun Chen, Ying-Jie Lin & Nai Peng (2016). *A two-stage method to determine the allocation and scheduling of medical staff in uncertain environments.*

⁸¹ Wong, T.C. & Xu, M. (2014) *A two-stage heuristic approach for nurse scheduling problem: A case study in an emergency department.*

CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO ESTRATÉGICO Y MODELO DE NEGOCIOS

3.1 Posicionamiento Estratégico

3.1.1 Misión y Visión

Se presentan a continuación la Misión y Visión del HCUCH⁸², los cuales rescatan la dualidad y excelencia del Hospital tanto en su ámbito clínico como educacional/investigativo planteado con anterioridad, al igual que sus puntos distintivos al momento de entregar soluciones médicas:

- **Misión:**

Ser el principal Hospital Universitario del país que, junto con la formación de profesionales de la salud de excelencia, la investigación y la mejor práctica clínica, otorgue a la comunidad soluciones integrales de salud.

- **Visión:**

Llegar a ser un organismo de excelencia en lo académico, en la gestión administrativa y financiera, y en la ética biomédica.

Al mismo tiempo, el Centro de imagenología desde el año 2019 comenzó a revisar sus lineamientos estratégicos, según el jefe de la unidad de análisis y gestión, Williams Astudillo, pudiendo así converger en la misión y visión que regirá al Centro desde 2020 hasta 2024, las cuales se presentan a continuación:

- **Misión:**

Entregar apoyo diagnóstico y terapéutico de alta calidad, eficiente y oportuno, formando profesionales y técnicos de manera integral, fundados en los valores de la Universidad de Chile, y generando nuevos conocimientos y servicios que contribuyan a la prevención y solución de las necesidades en salud.

- **Visión:**

Ser referente académico-asistencial a nivel nacional e internacional en Imagenología diagnóstica y terapéutica.

⁸² Hospital Clínico Universidad de Chile. (2018). *Misión*. Recuperado de <https://www.redclinica.cl/hospital-clinico/mision.aspx>

3.2 Balanced Scorecard

A continuación, se presenta el Mapa estratégico del Hospital Clínico de la Universidad de Chile⁸³, en el cual se verifican los cuatro principales ejes Financiero, Clientes, Procesos Internos, Aprendizaje y crecimiento. Cada uno de ellos, definen tres macroobjetivos planteados por área, los cuales son parte de su estrategia como Hospital y, por ende, lineamientos a seguir en la presente tesis.

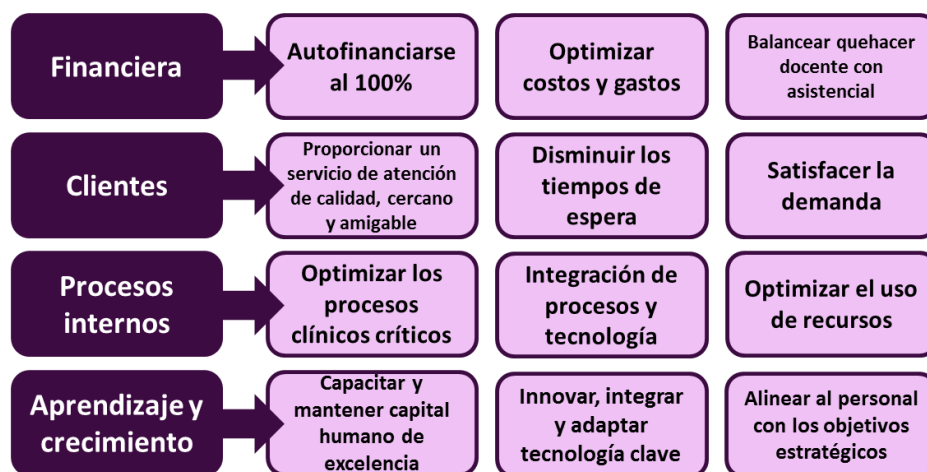


Ilustración 36. Mapa estratégico de HCUCH según Garrido, N. (2015).

Se destacan en especial, los siguientes macroobjetivos según eje:

- **Financiera:**
 - **Optimizar costos y gastos:** En este caso mediante el ordenamiento de horas radiólogo, se podrá llegar a la optimización de costos y gastos por parte del HCUCH, teniendo la cantidad óptima de hora radiólogo por bloque horario, pudiendo así organizar a los radiólogos pertinentes.

- **Clientes:**
 - **Disminuir tiempos de espera y proporcionar un servicio de atención de calidad, cercano y amigable:** Debido a los atrasos en los informes radiológicos, los tiempos de espera por resultados aumentan, lo cual con la solución que se planteará en esta tesis, se podrán disminuir pudiendo así entregar un mejor servicio a los pacientes.

⁸³ Garrido, N. (2015). *Mejora en los procesos de planificación, control y monitoreo del servicio de urgencia del Hospital Clínico de la Universidad de Chile*. (Tesis publicada de Magíster). Universidad de Chile, Santiago, Chile.

- **Procesos internos:**
 - **Integración de procesos y tecnología:** En esta ocasión se estudia el proceso de revisión de exámenes radiológicos a cabalidad teniendo en cuenta las diversas especialidades, para luego entregar la solución tecnológica pertinente al problema encontrado.
 - **Optimizar el uso de recursos:** En este caso, se plantea la posibilidad de optimizar las horas radiólogo por especialidad para así mejorar el servicio entregado en el Centro de Imagenología.

- **Aprendizaje y crecimiento:**
 - **Innovar, integrar y adaptar tecnología clave:** Como se mencionó anteriormente, la tecnología a utilizar se debe alinear con los procesos a gestionar, pudiendo así integrarse y adaptarse para obtener un mejor resultado.

Al mismo tiempo, el Centro de Imagenología posee cuatro macroobjetivos estratégicos los cuales son:

- Fortalecer el posicionamiento del Centro de Imagenología en el Hospital Clínico de la Universidad de Chile en la disciplina.
- Integrar la gestión académica y asistencial.
- Desarrollar una cultura de alto desempeño.
- Fomentar la generación de conocimiento.

Analizando el Mapa estratégico del HCUCH y los macroobjetivos del Centro de Imagenología en cuanto a las prioridades de la organización y al posicionamiento estratégico, se destaca la fuerte relación con la tecnología y la innovación, como también la dualidad del HCUCH al momento de ser un hospital clínico y de formación, lo cual sería la base para entregar un servicio de calidad a sus pacientes llevando a diferenciarse de otros establecimientos, ya sean privados o públicos. Cabe destacar que también se menciona como prioridad la innovación y optimización de recursos en los diversos procesos del hospital y la generación de conocimiento de todo el cuerpo médico y no médico.

3.3 Modelo de Negocios

El modelo de negocios del HCUCH adaptado de Garrido, N. (2015) y validado por el jefe de la unidad de análisis y gestión, Williams Astudillo, se centra en las prioridades comentadas anteriormente de la organización, como lo son la tecnología, dualidad del HCUCH, innovación y optimización de recursos para entregar un servicio completo a sus clientes, lo cual no sería posible sin el apoyo del cuerpo médico y no médico del hospital.



Ilustración 37. Modelo de negocios de HCUCH Adaptado de Garrido, N. (2015) y validado con el jefe de la unidad de análisis y gestión del HCUCH, Williams Astudillo.

Como se verifica en el modelo de negocios del HCUCH, la propuesta de valor se divide en dos puntos principales, el primero alusivo a entregar soluciones integrales de salud para la comunidad y el segundo a su labor de formador de especialistas de la salud, recalcando así las prioridades del HCUCH mencionadas con anterioridad.

La forma en que la propuesta genera el valor es mediante la diferencia con otros centros médicos al entregar el servicio, ya que se asegura que la atención será de calidad, debido a que los miembros del equipo médico son formados en el mismo HCUCH, por ende, aparte de estar respaldados por la marca de la Universidad de Chile, se asegura que la educación entregada es la adecuada.

Con todo lo anterior, se llega a la conclusión de que el HCUCH se sitúa en el vértice de Mejor producto del Delta Hax, pero al mismo tiempo posee una gran componente en Diferenciación con otros centros médicos, por ejemplo, debido al tiempo de respuesta y calidad del servicio entregado.

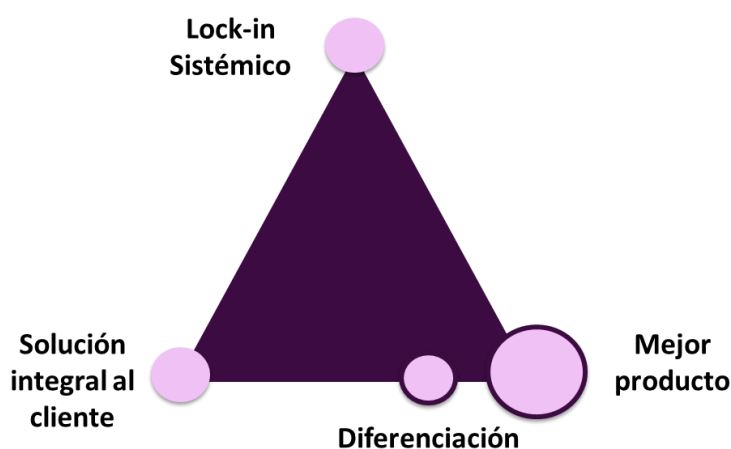


Ilustración 38. Delta Hax de HCUCH. Elaboración propia.

Finalmente, se llega a la conclusión de que el posicionamiento del HCUCH es la **Diferenciación**, debido a que se busca la ventaja competitiva a través de una constante innovación tecnológica y de procesos que generen una característica única que les cree valor a los clientes, tales como la cualidad de ser un hospital clínico y a la vez académico.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS SITUACIÓN ACTUAL

4.1 Arquitectura de Procesos

En el patrón de arquitectura de procesos para hospitales, se comenzará por verificar las Líneas de servicio a pacientes en conjunto con los Servicios internos propios, es decir, Macro 1⁸⁴.

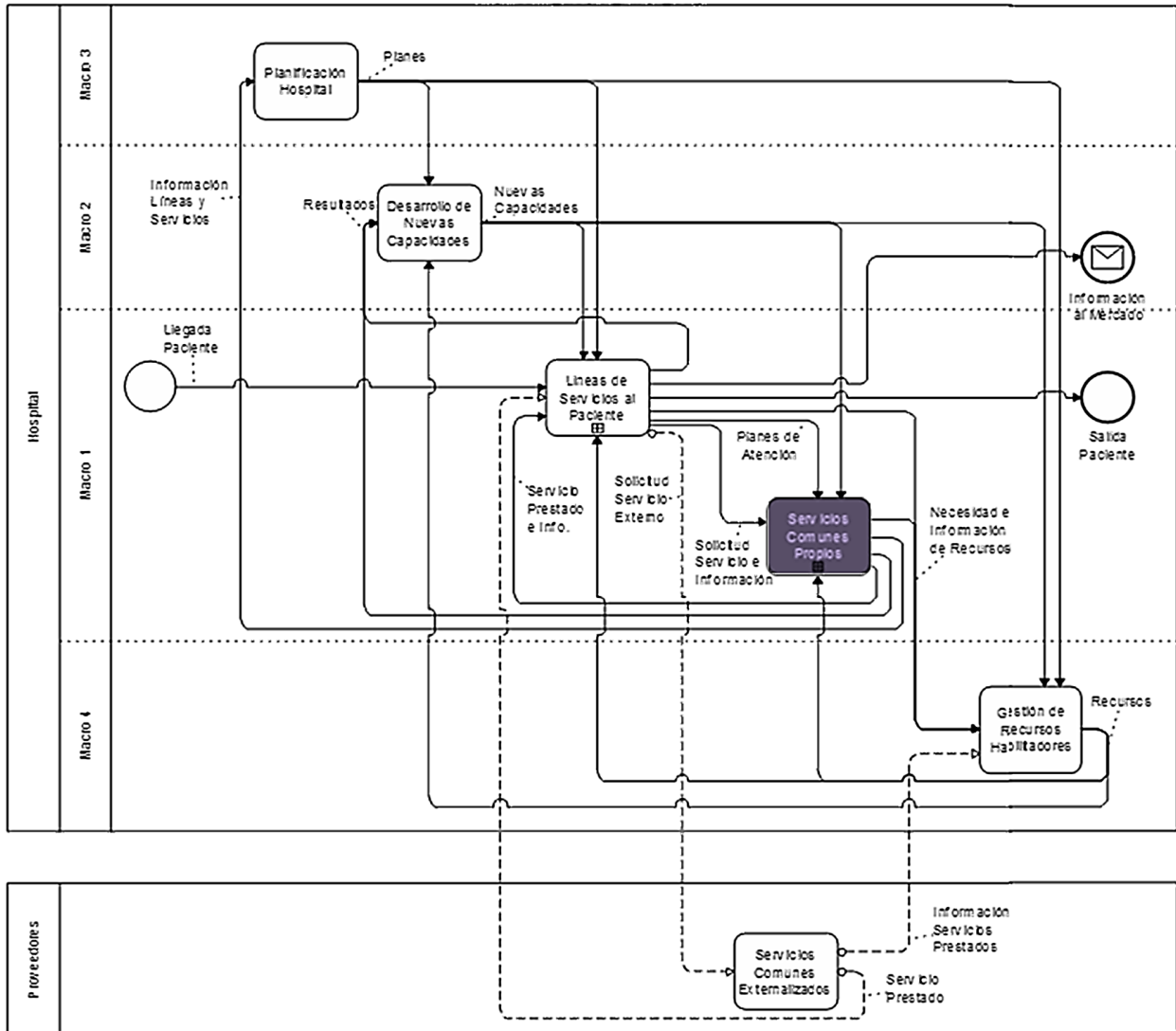


Ilustración 39. Patrón de arquitectura de procesos para hospitales. Elaboración propia.

Para comenzar, las Líneas de servicio al paciente se refieren en particular a las cadenas de valor del HCUCH para los diversos estados de los pacientes. Ejemplos de los anterior serían la Atención Ambulatoria, Urgencia, Cerrada y otros servicios, destacando en estos últimos la venta de bonos, ya sean de Isapres o Fonasa.

⁸⁴ Barros, O. (2013). Business Engineering and Service Design with Applications for Health Care Institution, Chile: Business Expert Press (Filial McGraw Hill).

Luego, los Servicios Comunes propios hacen referencia a los servicios internos compartidos del HCUCH, por ejemplo, servicios de reserva de hora, servicios de pabellón, servicios comunes, servicios de tratamientos y procedimientos, servicios de insumos y farmacia, gestión de camas, mantención de estado y servicios de apoyo diagnóstico. Estos últimos se refieren especialmente a Imágenes y laboratorio, los cuales apoyan las labores de las otras cadenas de valor.

La presente tesis, se enfoca en el Centro de Imagenología del HCUCH, es decir, un servicio de apoyo diagnóstico.

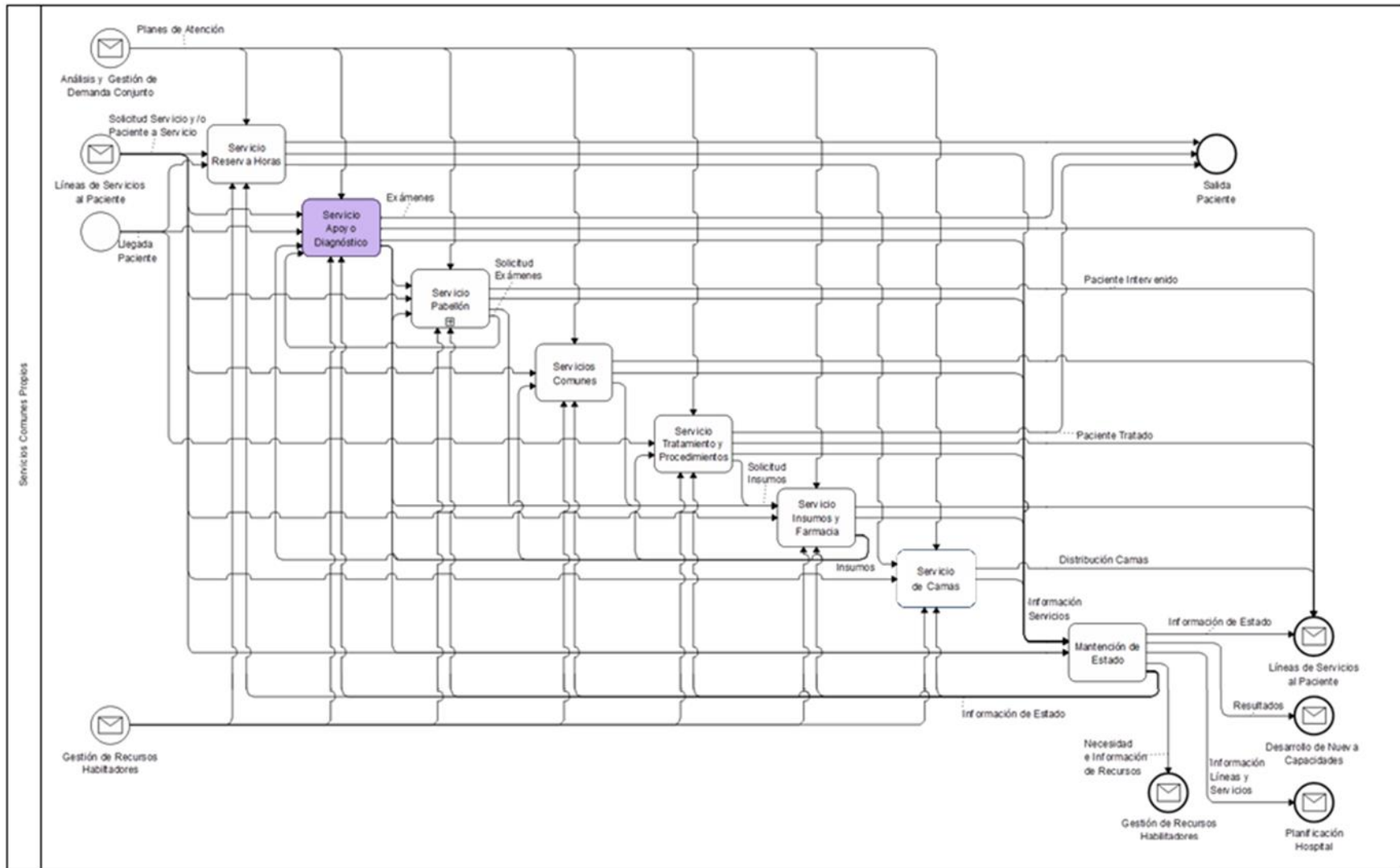


Ilustración 40. Patrón de arquitectura de procesos para hospitales: Servicios comunes propios. Elaboración propia.

La gestión del servicio de imagenología se divide según Planificación y control del servicio, Gestión de la calidad y personal, Gestión de insumos y equipos y finalmente Gestión académica.

En particular, la presente tesis se centra en la Gestión de personal, en donde se pone énfasis en analizar la capacidad de personal del servicio y su relación con la demanda existente, es decir, verificar si la cantidad de Radiólogos que son los recursos críticos para la realización de informes se condice con la demanda del CI al momento de crear turnos.

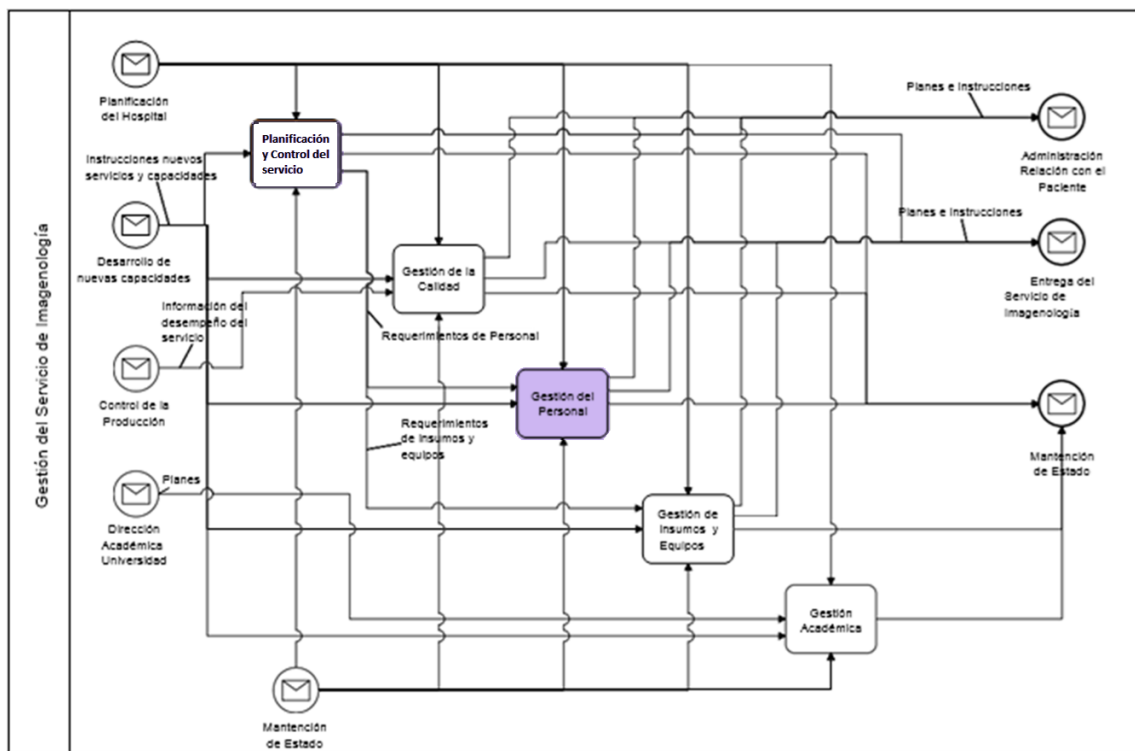


Ilustración 41. Patrón de arquitectura de procesos para hospitales: Gestión Servicio de Imagenología. Elaboración propia.

En la Gestión del personal, en términos de turnos el HCUCH no presenta mayores procesos más que conocer la demanda mediante conocimiento empírico, al mismo tiempo poseen horarios históricos, los cuales sólo poseen cambios según eventos puntuales y son gestionados por el jefe de unidad de cada área, por ende, los tres procesos siguientes no se cumplen a cabalidad hoy en día en el CI del HCUCH.

En particular, los integrantes del CI suelen conocer la demanda por su experiencia, destacando la mayor demanda en las mañanas de los días de semana, aumentando en

los meses de invierno y disminuyendo en verano. Gracias a ese conocimiento adquirido a lo largo de los años, pudieron crear un horario para los radiólogos de las diversas unidades, el cual es utilizado hasta el día de hoy.

4.2 Modelamiento Detallado de Procesos

En el presente capítulo se verán dos procesos detallados, el primero se refiere a la creación de turnos/horarios de trabajo de los radiólogos y el segundo hace referencia a la creación de informes radiológicos por parte de estos.

4.2.1 Gestión de turnos en el CI del HCUCH

Este proceso se denomina como histórico, debido a que existen horarios o turnos pre-existentes en el CI, por ende, sólo se cambian cuando los radiólogos poseen situaciones puntuales, en donde deben comentarlo y coordinarlo con el Jefe de unidad o área, llegando a un acuerdo de cambio de turno, para luego comunicar los cambios excepcionales del acuerdo. Por ende, el proceso de creación de turnos no existe como tal, pero sí el proceso de gestión de turnos como se ve a continuación:

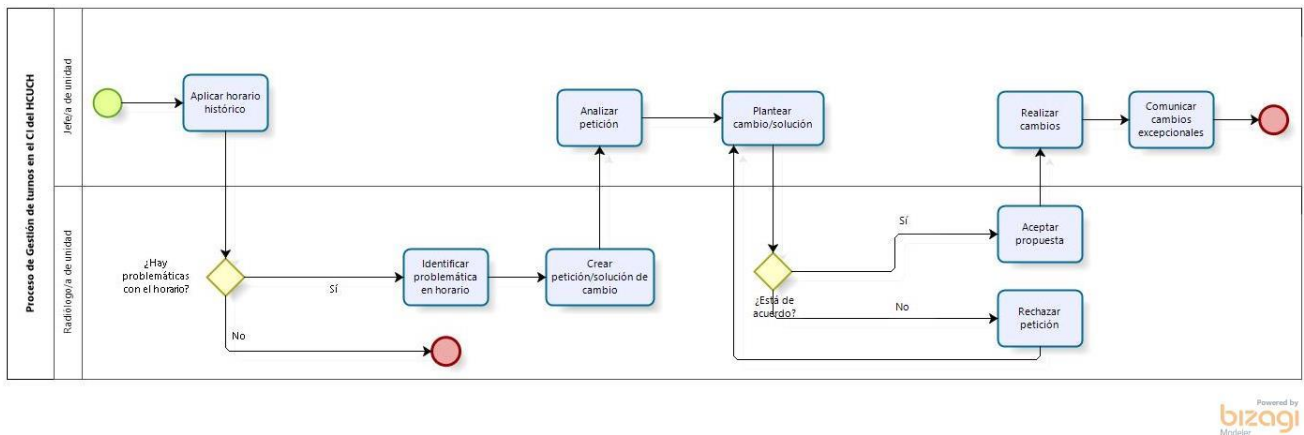


Ilustración 42. Proceso AS IS de gestión de turnos radiológicos en CI del HCUCH. Elaboración propia. Fuente: Levantamiento de procesos de la tesista en el CI del HCUCH.

4.2.2 Creación de informes radiológicos en el HCUCH

El proceso de creación de informes se explica para comprender el funcionamiento del proceso en general y así dimensionar el problema de los atrasos de informes.

El proceso comienza cuando el paciente llega al HCUCH, espera su turno para ser atendido por una recepcionista, la cual momentos después comienza a registrar en el RIS sus datos personales y del estudio a realizar junto con la documentación requerida como orden médica, cuestionarios, entre otros. Luego procede al pago.

La información generada en la recepción es transmitida al sistema RIS/PACS para que pueda ser visualizada en los terminales ubicados en las salas de examen correspondientes como al equipo imagenológico que corresponda según el examen a realizar, de forma tal que el Tecnólogo médico pueda realizar los ajustes necesarios en el equipo imagenológico para esperar al paciente en la sala del examen.

Cuando el paciente ya se encuentre en la sala, el Tecnólogo médico encargado del equipo procederá a realizar el examen. Acto seguido, el estado del examen queda registrado tanto en el RIS y a su vez las imágenes quedan correctamente identificadas con la información proveniente de este último. Ellas son transmitidas al PACS para que el Radiólogo especialista pueda realizar el informe radiológico, verificando constantemente todos los exámenes pendientes. El Radiólogo para mayor comodidad, crea una sublista de exámenes según su preferencia y especialidad, pudiendo así comenzar a diagnosticar uno de ellos según la urgencia del paciente, es decir, si su estado es Hospitalizado, Ambulatorio o Ambulatorio Urgente, para así respetar los protocolos de tiempo máximo de entrega de informes radiológicos. Cabe destacar que la plataforma se refresca cada 30 segundos (Configurables por el administrador del sistema), lo cual permite que los nuevos pacientes se incorporen a la lista de especialidad de forma rápida.

La realización del informe radiológico, una vez revisadas las imágenes, se puede hacer de tres formas:

- Escribir el informe directamente: Se puede escribir de forma libre o con una plantilla según el tipo de examen y especialidad, necesitando así sólo agregar datos específicos del examen en cuestión, ya que la mayoría de la estructura ya se encuentra en la plantilla.
- Mediante reconocimiento de voz: El Radiólogo especialista dicta el informe mediante un dictáfono específico para estos fines, conectado al computador, el

cual lo escribe de forma automática, ahorrando tiempo de escritura y permitiendo a la vez al médico corregir palabras que se hayan detectado de forma errónea.

- Grabar audio: Se puede grabar en un audio el informe, el cual después una secretaria lo deberá transcribir, teniendo la opción de preguntar al médico si es que no entiende alguna palabra o dejando anotadas las dudas para que luego el radiólogo pueda rellenar y/o corregir las palabras en duda.

Es importante mencionar que al analizar los registros del RIS (2013-2018), es decir, más de 470.000 registros, se puede verificar que aproximadamente 0,00002% de los radiólogos utiliza la grabación de audio para realizar los informes radiológicos.

Luego de elegir alguna de las opciones anteriores, el Radiólogo procede a validar el informe, es decir, a terminar el diagnóstico, por ende, los resultados del examen están listos para que la secretaria los pueda entregar al paciente, dando por finalizado el proceso.

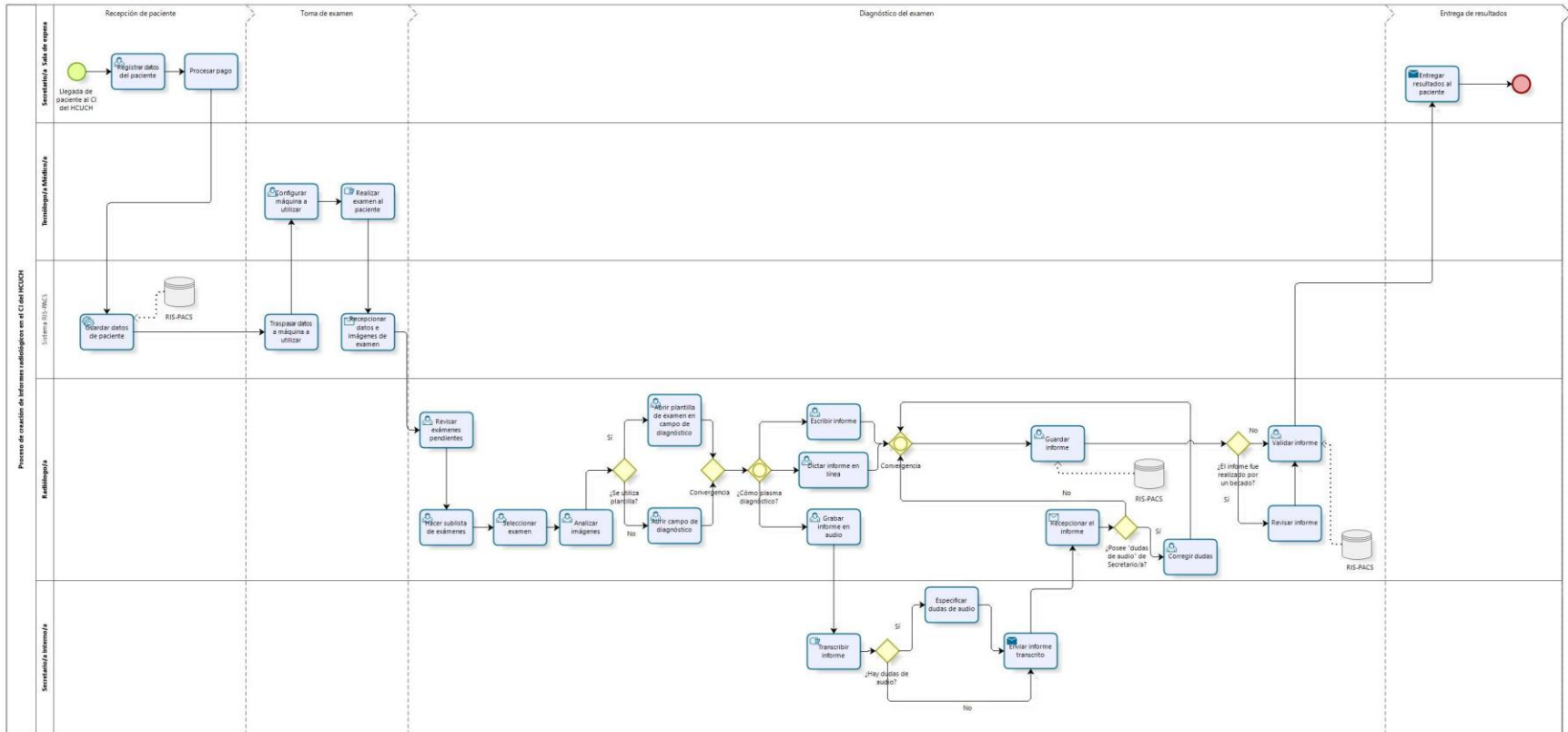


Ilustración 43. Proceso AS IS de creación de informes radiológicos en CI del HCUCH. Elaboración propia. Fuente: Levantamiento de procesos de la tesista en el CI del HCUCH.

4.1 Diagnóstico de la Situación Actual

Basado en las arquitecturas y modelos anteriormente desarrollados y explicados, se pueden verificar diferentes problemas:

1. Escasa claridad sobre demanda en el CI.
2. Asignación del personal es histórica, por ende, no se relaciona de forma directa con la demanda actual.
3. Atraso en la entrega de informes radiológicos.

El primer y segundo problema se relacionan entre sí, ya que, al tener poca claridad sobre la demanda, es decir, sólo un conocimiento empírico sin mayor análisis no es posible gestionar al personal para cubrir la demanda de forma óptima, desencadenando problemas tanto al paciente como al cuerpo médico y no médico del CI del HCUCH. Cabe destacar que la asignación actual del personal es histórica y sólo cambia debido a eventos puntuales de los radiólogos, los cuales deben coordinar con sus jefes de área de forma directa e informal. Cabe destacar que ambos problemas se relacionan de forma directa con la función de administración de planificación y se reflejan en la inexistencia del proceso Analizar demanda en el macroproceso de Gestión de personal en conjunto con Analizar cantidad de personal y generar propuestas, lo que conlleva a que tampoco exista el Análisis de factibilidad de estas.

Con respecto al tercer problema relacionado a las funciones de administración de Manejo de información y Control, se verifica que los exámenes que se realizan los pacientes a lo largo del día son distribuidos con el criterio de especialidad a las listas generales, pues luego los mismos Radiólogos son los encargados de seleccionar los exámenes a diagnosticar según estado del paciente preferentemente, por ende, hay un bajo control del tiempo en que se realiza un diagnóstico como también de la cantidad de exámenes por diagnosticar que faltan, lo cual hace que los atrasos en la entrega de informes sean parte del día a día, trayendo consecuencias tanto para los integrantes del CI en general como para los pacientes.

En específico, para los integrantes del CI lo anterior presentaría un problema, debido a la vinculación, ya que esta relaciona la producción con el pago de los sueldos.

La vinculación es el proceso de pago a los integrantes del CI ya sea cuerpo médico o no médico. En particular, para los radiólogos si bien poseen un sueldo fijo, en este proceso se calcula este reconocimiento por producción, es decir, de todas las ventas generadas por el centro en el mes, se calcula un monto en función de un porcentaje de estas según la modalidad (TC, RX, RM, entre otros), el cual es repartido a las especialidades y a cada radiólogo en forma proporcional a su trabajo en horas y por su grado de *expertise*, por ende, si existen atrasos en los informes, afecta la calidad del servicio, disminuyendo las ventas y con ello el monto percibido por este concepto. Cabe destacar que una parte de este monto a repartir es distribuida también en forma de bono al personal no médico, por lo cual este estamento también se ve afectado por el aumento/descenso de las ventas del centro. Por otro lado, los pacientes se verán afectados con los atrasos de entrega de informe dependiendo de su estado, es decir, paciente urgente, ambulatorio u hospitalizado.

Si bien en el RIS/PACS se mantiene información actualizada sobre los tiempos de pago, comienzo y final de examen, comienzo y validación de informes, estos dos últimos datos no siempre son representativos de la realidad, debido a que muchas veces los radiólogos son interrumpidos por sus pares u otros integrantes del CI por alguna urgencia, un becado puede solicitar revisión de sus tareas, entre otros factores. Por otro lado, muchas veces el radiólogo puede estar analizando, solo o con médicos residentes de radiología, las imágenes de un estudio por un tiempo determinado sin comenzar aún a realizar el informe en la aplicación lo que subestima el tiempo del proceso total. Es por ello que, si bien la mayoría de la información se encontraba disponible, el tiempo real de revisión de examen falta.

En general, el proceso global del paciente se ve afectado, pudiendo traer consecuencias para los pacientes y la reputación del HCUCH debido a una merma en la calidad de servicio.

4.1.1 Análisis estadístico de demanda

Las bases de datos entregadas fueron directamente extraídas del RIS y corresponden a los años 2013 a 2018, la cual cuenta con más de 470.000 registros. Cada registro es un examen realizado en el CI del HCUCH con sus respectivos datos.

Se procede a analizar la demanda que llega al CI la cual muestra una estructura muy concentrada entre los 200 a 400 pacientes entre los años 2013 y 2018. Luego, se plantea una descomposición de series de tiempo aditivas para verificar si existe estacionalidad y/o tendencia en los datos. Llegando a la conclusión que la tendencia en su mayoría va en alza, lo cual se podría ver relacionado con las alianzas que ha creado

el HCUCH con las municipalidades aledañas, el cual consiste en atender a más público del habitual que sean derivados por complejidad a este establecimiento.

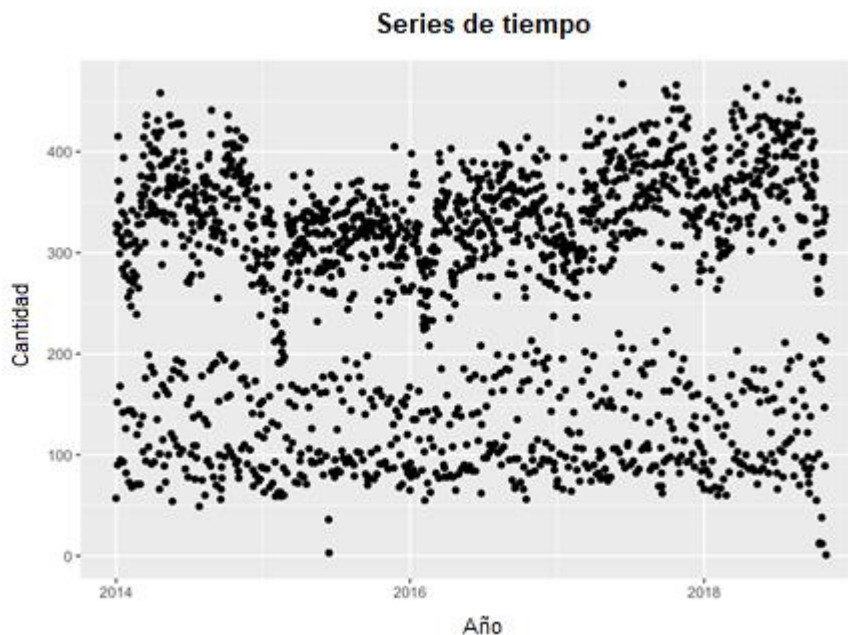


Ilustración 44. Comportamiento de la demanda en el tiempo. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Decomposition of additive time series

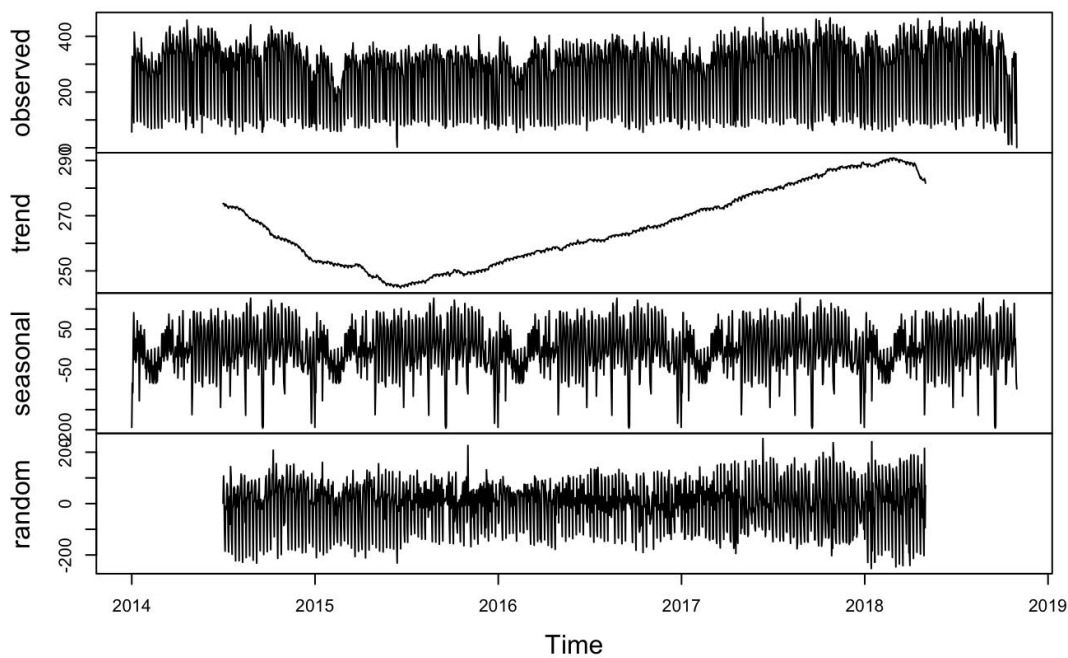


Ilustración 45. Descomposición de series de tiempo aditivas para observar tendencia y estacionalidades diarias. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

A continuación, se presentan los mismos gráficos anteriores, pero esta vez para una venta de tiempo más amplia como son los meses, pudiendo corroborar así la tendencia ascendente, como también las estacionalidades.

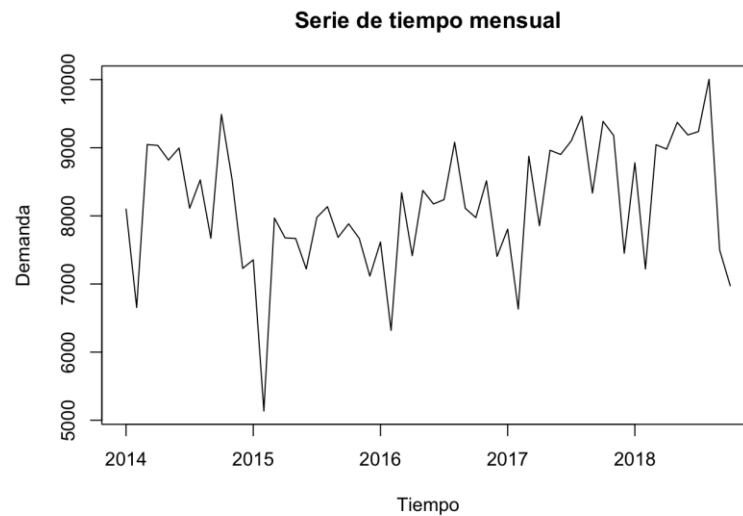


Ilustración 46. Serie de tiempo mensual de demanda. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

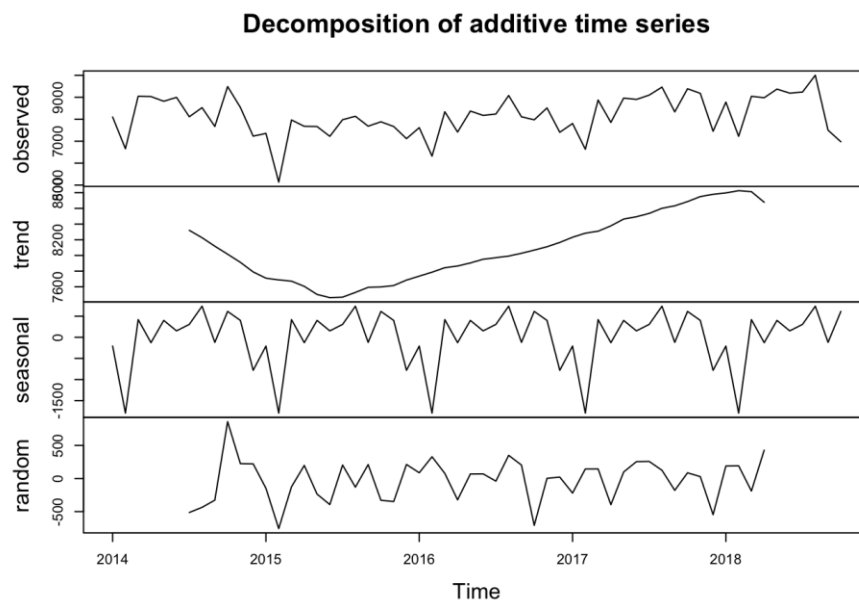


Ilustración 47. Descomposición de series de tiempo aditivas para observar tendencia y estacionalidades mensuales. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Al momento de verificar la demanda total de exámenes por año, según las diferentes agrupaciones y ventanas de tiempo, se nota la desigualdad en los datos, por ejemplo, en los días de semana se ve una tendencia descendente de Lunes a Domingo, según

mes se centran entre Marzo y Octubre, luego en número de semanas se verifica la mayor parte de la demanda en las semanas del medio, para la demanda según el número de día se verifica que los primeros y últimos días del mes la concentración aumenta, lo cual se podría ocasionar debido al pago del salario a los pacientes a inicios o final de mes, ello se reafirma con el gráfico de período mes.

Finalmente, para la segregación por año se nota una demanda poco variable, teniendo su máximo en el año 2017. Es por lo anterior, que se concluye que estas variables temporales son interesantes al momento de pronosticar la demanda.

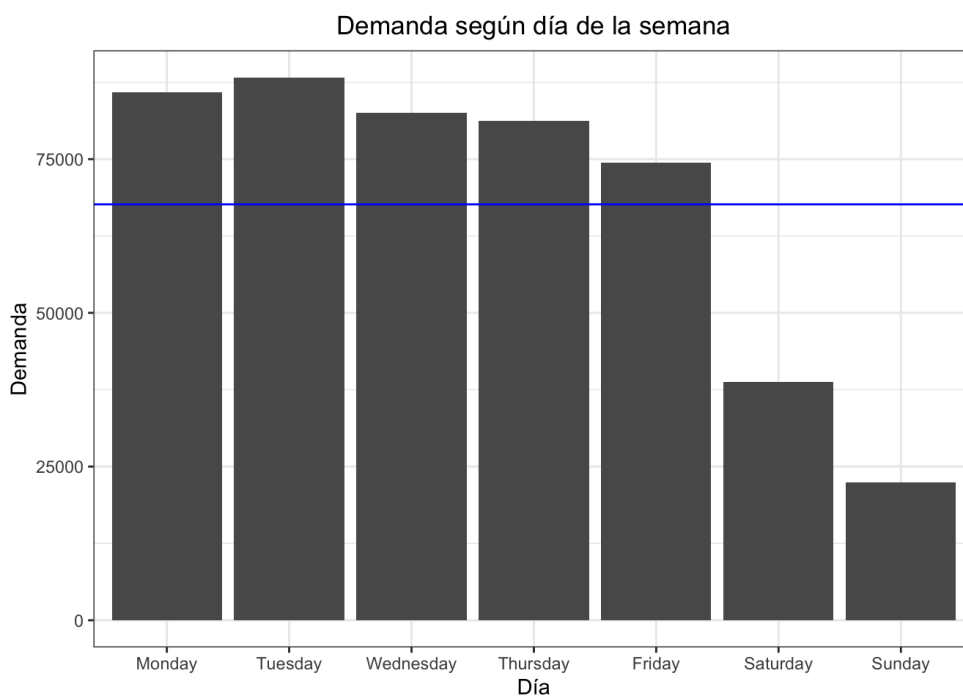


Ilustración 48. Demanda según día de semana. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

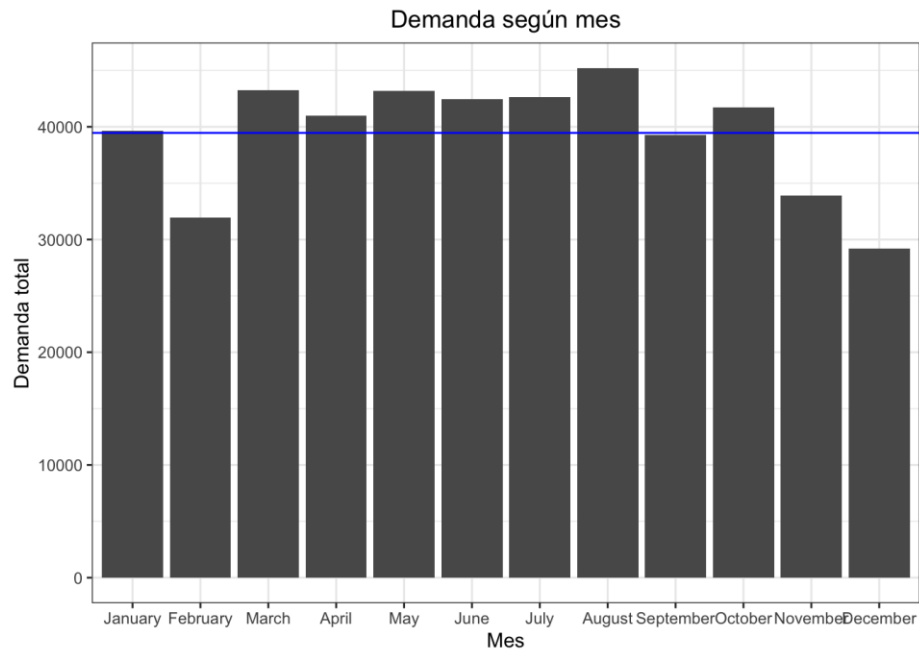


Ilustración 49. Demanda mensual. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

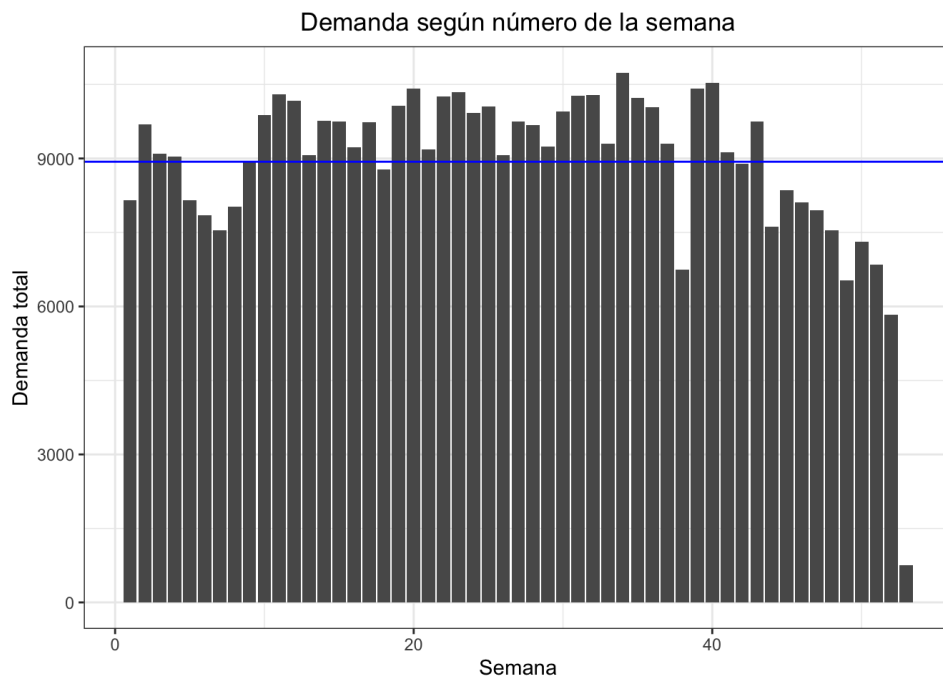


Ilustración 50. Demanda según número de la semana. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

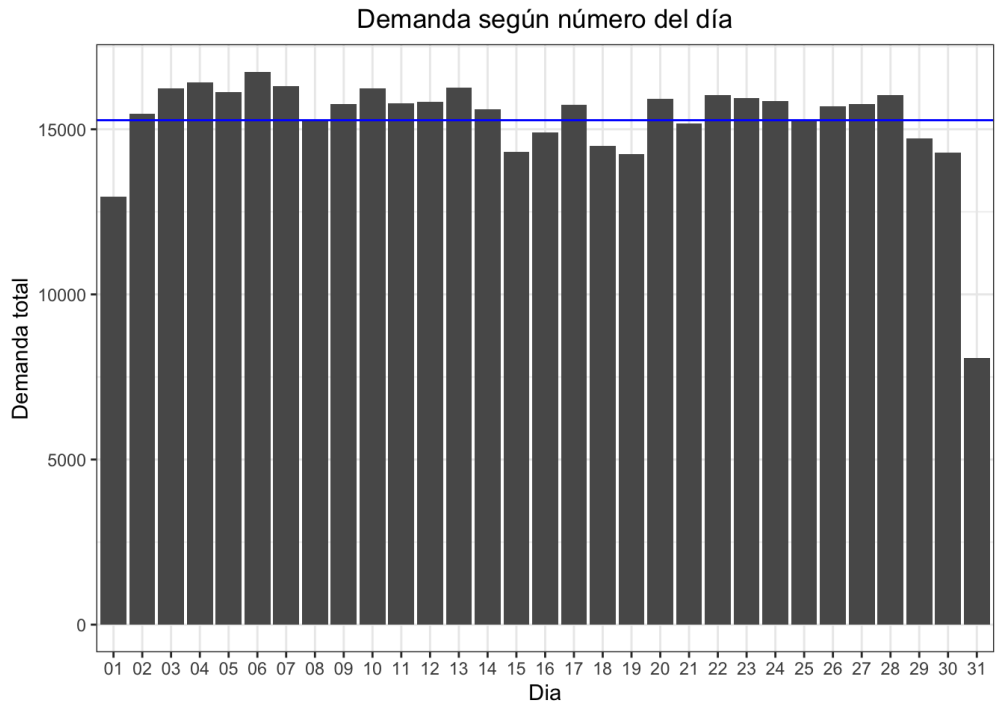


Ilustración 51. Demanda según número del día. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

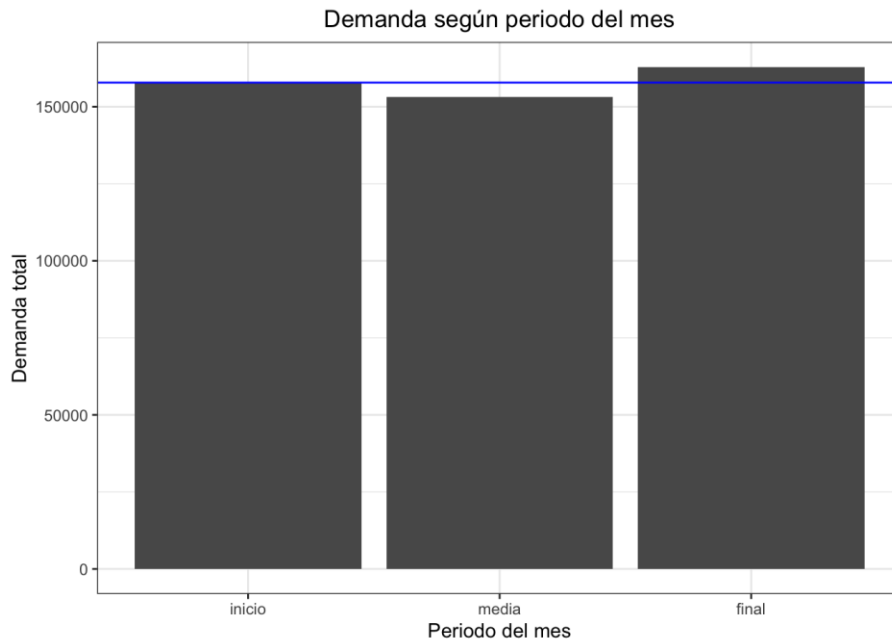


Ilustración 52. Demanda según período del mes. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

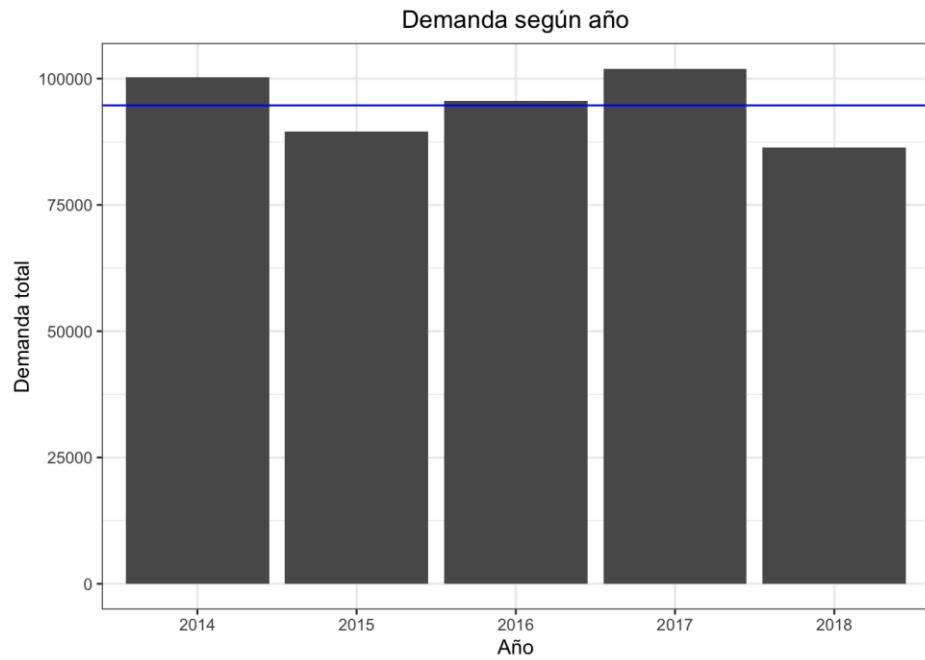


Ilustración 53. Demanda según año. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Gracias a los análisis anteriores, se puede comenzar a pronosticar la demanda, para la cual se divide la base de datos en un set de entrenamiento y otro de testeo, los porcentajes de división serán de 75% y 25%, respectivamente. El objetivo de lo anterior es determinar la precisión de ajuste para así llegar al poder de pronóstico.

4.1.2 Pronóstico de demanda

El primer pronóstico para realizar será mediante cuatro modelos de regresiones lineales, el primero considera sólo la variable mes, el segundo la variable mes y período del mismo, el tercero las variables mes, período del mes y día para luego en el cuarto modelo agregar la variable año.

$$R1 = \alpha * mes$$

Ecuación 3. Regresión lineal 1 candidata a pronóstico de demanda del CI. Elaboración propia.

$$R2 = \alpha * mes + \beta * periodomes$$

Ecuación 4. Regresión lineal 2 candidata a pronóstico de demanda del CI. Elaboración propia.

$$R3 = \alpha * mes + \beta * periodomes + \gamma * día$$

Ecuación 5. Regresión lineal 3 candidata a pronóstico de demanda del CI. Elaboración propia.

$$R4 = \alpha * mes + \beta * periodomes + \gamma * día + \delta * año$$

Ecuación 6. Regresión lineal 4 candidata a pronóstico de demanda del CI. Elaboración en conjunto con TSC.

Para verificar cuál de ellos predice de mejor manera los datos no observados, se utilizarán métricas como MAE⁸⁵ y MAPE⁸⁶:

Ecuación 7. Fórmula para calcular MAE. Elaboración propia.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|$$

Ecuación 8. Fórmula para calcular MAPE con A_t como el valor actual, F_t el pronóstico y n como la cantidad total de datos. Elaboración en conjunto con TSC.

MAE permite conocer en cuántas unidades de demanda se desvía el pronóstico en promedio, en cambio, MAPE permite conocer el porcentaje de desvío de pronóstico, lo cual es útil debido a que se independiza de la escala utilizada a las mediciones de demanda en el CI.

⁸⁵ Definido como el promedio de los valores absolutos de la diferencia entre el pronóstico y el verdadero valor.

⁸⁶ Definido como el promedio de la desviación porcentual absoluta del pronóstico con respecto al valor real.

En específico, al ver los valores de MAE y MAPE se puede verificar que el modelo 4 presenta un buen nivel de ajuste en los datos de entrenamiento en conjunto con su alto nivel de predicción, debido a que presenta los valores más pequeños para MAE y MAPE, es decir, 35,993 y 25,801, respectivamente. En definitiva, este modelo falla en 35,993 unidades de demanda aproximadamente y en un 25,801% con respecto al verdadero valor.

Tabla 4. Valores de MAE y MAPE para modelos de regresión lineal. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Modelo	MAE	MAPE
Modelo 1	96,991	72,561
Modelo 2	96,952	71,055
Modelo 3	39,399	25,742
Modelo 4	35,993	25,801

Tabla 5. Tabla de indicadores para diferentes coeficientes. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

## Coefficients:				
##	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
## (Intercept)	307.44	7.72	39.82	< 0.0000000000000002 ***
## factor(nmes)August	9.06	7.69	1.18	0.2393
## factor(nmes)December	-38.33	8.29	-4.62	0.000004185977 ***
## factor(nmes)February	-52.12	7.70	-6.77	0.0000000000019 ***
## factor(nmes)January	-20.43	7.56	-2.70	0.0070 **
## factor(nmes)July	3.10	7.64	0.41	0.6854
## factor(nmes)June	4.76	7.59	0.63	0.5303
## factor(nmes)March	2.32	7.57	0.31	0.7592
## factor(nmes)May	1.75	7.54	0.23	0.8168
## factor(nmes)November	8.05	8.18	0.98	0.3251
## factor(nmes)October	-4.79	7.63	-0.63	0.5303
## factor(nmes)September	-16.84	7.60	-2.22	0.0269 *
## factor(periodo)ini	4.47	3.78	1.18	0.2376
## factor(periodo)Media	-1.03	3.77	-0.27	0.7849
## factor(ndia)Monday	49.40	5.83	8.48	< 0.0000000000000002 ***
## factor(ndia)Saturday	-141.44	5.87	-24.10	< 0.0000000000000002 ***
## factor(ndia)Sunday	-206.99	5.94	-34.84	< 0.0000000000000002 ***
## factor(ndia)Thursday	30.19	5.86	5.15	0.000000297741 ***
## factor(ndia)Tuesday	58.83	5.86	10.03	< 0.0000000000000002 ***
## factor(ndia)Wednesday	32.03	5.79	5.53	0.000000037801 ***
## factor(year)2015	-28.30	4.79	-5.91	0.000000004352 ***
## factor(year)2016	-12.81	4.75	-2.70	0.0071 **
## factor(year)2017	7.91	4.75	1.66	0.0962 .
## factor(year)2018	9.92	5.13	1.93	0.0534 .
## ---				
## Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
##				
## Residual standard error: 56.2 on 1299 degrees of freedom				
## Multiple R-squared: 0.771, Adjusted R-squared: 0.766				
## F-statistic: 179 on 23 and 1299 DF, p-value: <0.0000000000000002				

Gracias a la tabla anterior, se verifica que, la demanda de lunes a jueves es mayor a la del día de base viernes, en cambio si se compara el fin de semana con el día base, se obtiene que la demanda es menor. En los meses de invierno, la demanda aumenta en comparación con el mes base elegido: Abril, en cambio, para los meses de verano la demanda disminuye, en particular, se destaca ese efecto en los meses de vacaciones de verano, lo cual calza de forma exacta con el conocimiento empírico de los integrantes del CI.

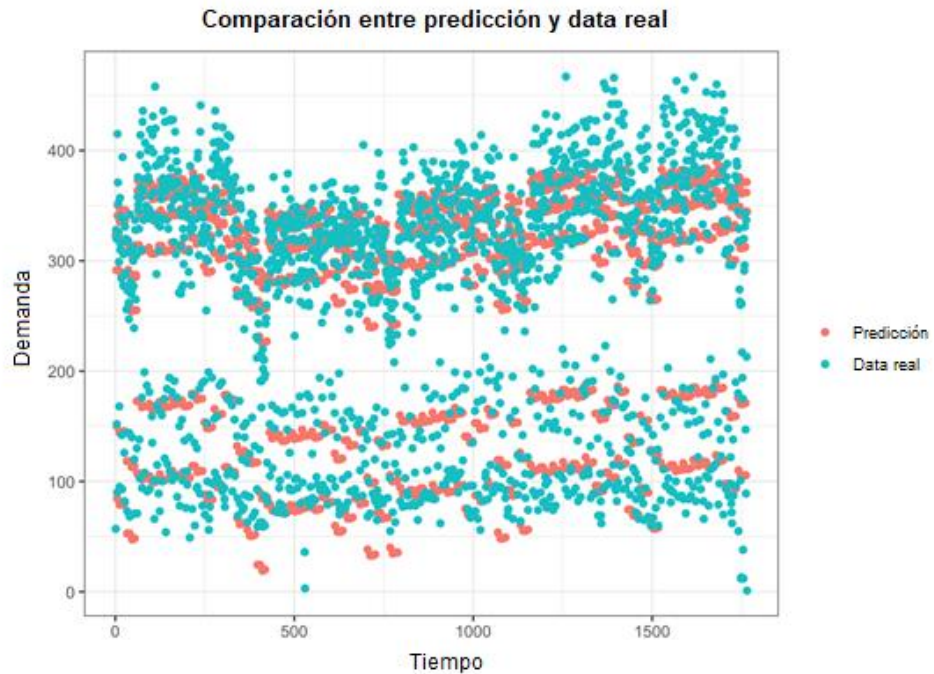


Ilustración 54. Comparación entre modelo y datos reales. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

También se pronostica la demanda utilizando otros modelos como la media, Naive, Seasonal Naive, Random Walk y Simple exponential smoothing como se ve a continuación:

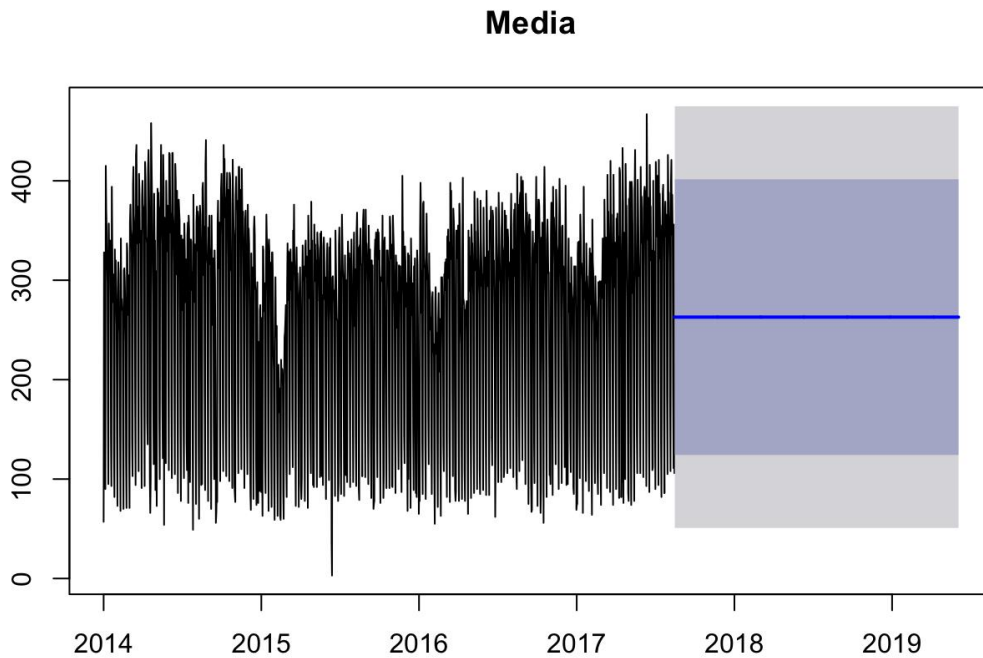


Ilustración 55. Pronóstico utilizando la media. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Naive

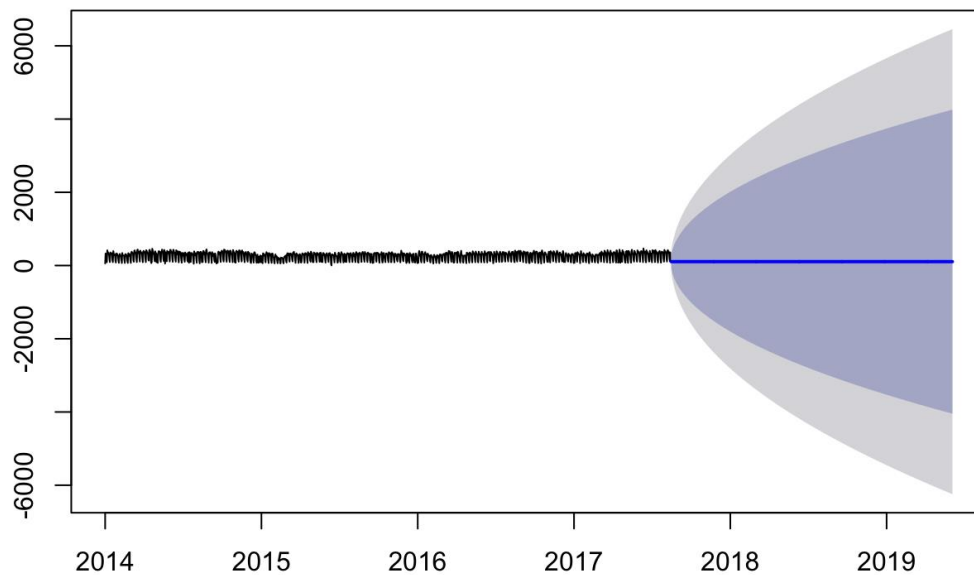


Ilustración 56. Pronóstico de demanda utilizando última observación o método Naive. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Seasonal Naive

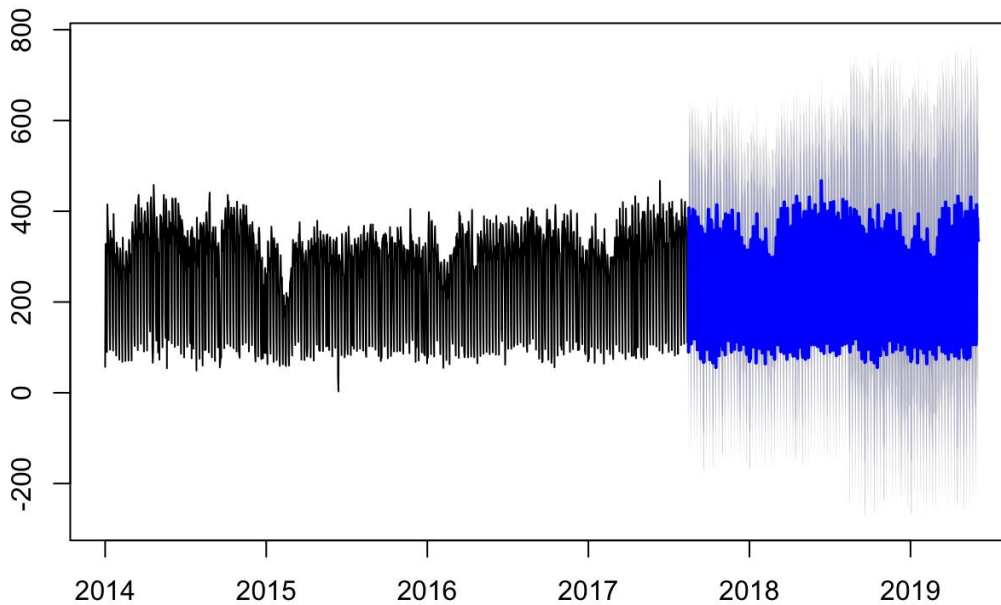


Ilustración 57. Pronóstico usando la última estacionalidad detectada. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Random Walk

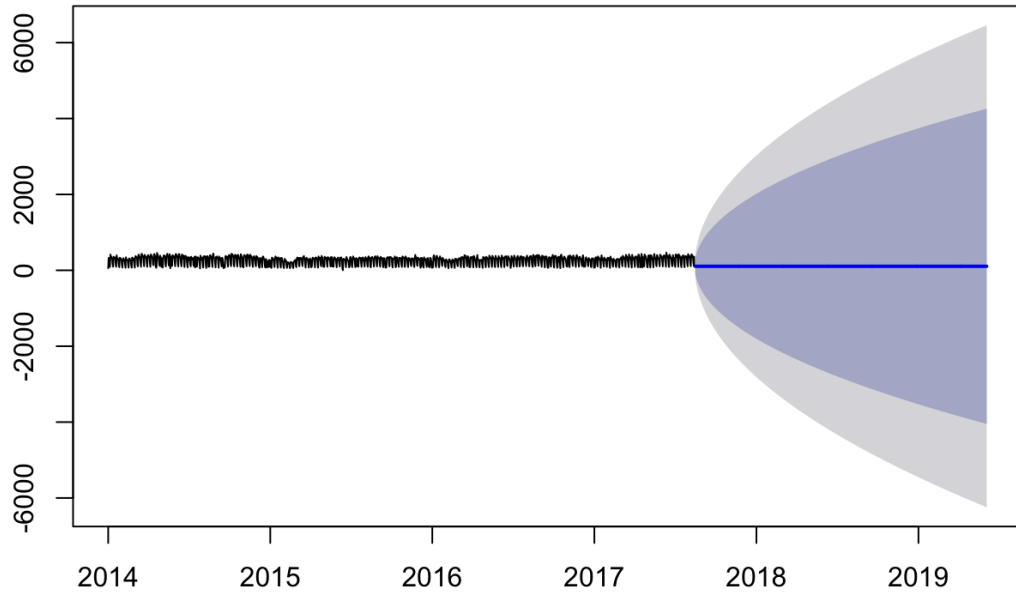


Ilustración 58. Pronóstico de demanda usando la media entre el primer y último datos o Random walk. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Simple exponential smoothing

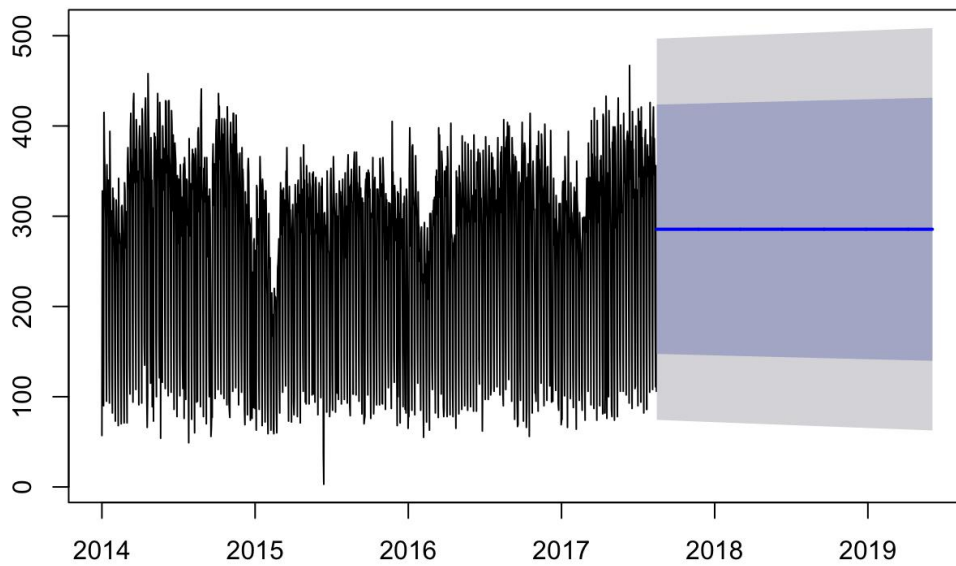


Ilustración 59. Suavizamiento exponencial simple. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Luego de realizar los cinco modelos anteriores, se realiza una comparación entre ellos, quedando como se ve a continuación:

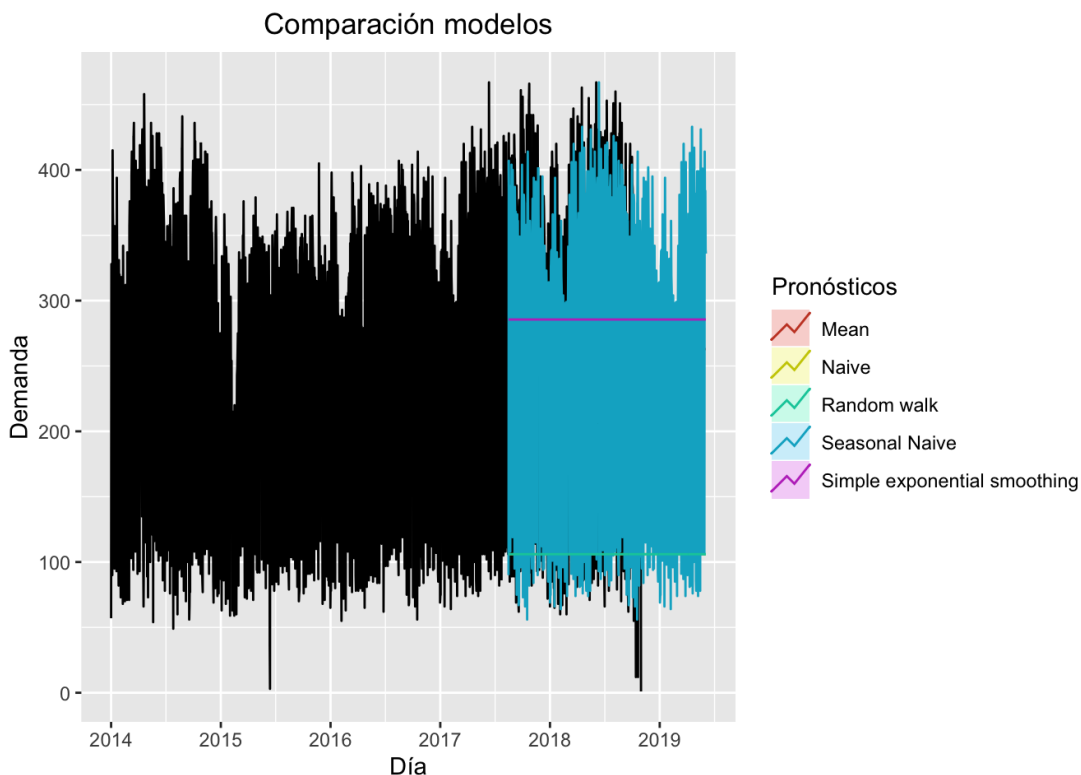


Ilustración 60. Comparación modelos de predicción de demanda. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Tabla 6. Valores de MAE y MAPE para modelos 4, Media, Naive, Seasonal Naive y Random Walk. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Modelo	MAE	MAPE
Modelo 4	35,942	25,797
Modelo Media	120,181	140,282
Modelo Naive	187,002	85,568
Modelo Seasonal Naive	164,127	179,837
Modelo Random Walk	187,002	85,568

En conclusión, se verifica un mayor ajuste del Modelo de regresión 4 en comparación a los otros modelos anteriores para el pronóstico de demanda del CI del HCUCH, debido a que su MAE y MAPE son los menores comparados con los otros modelos.

Otra comparación de la proyección de demanda es entre promedios móviles de 7, 14, 21 y 28 períodos.

Moving Average con 7 periodos

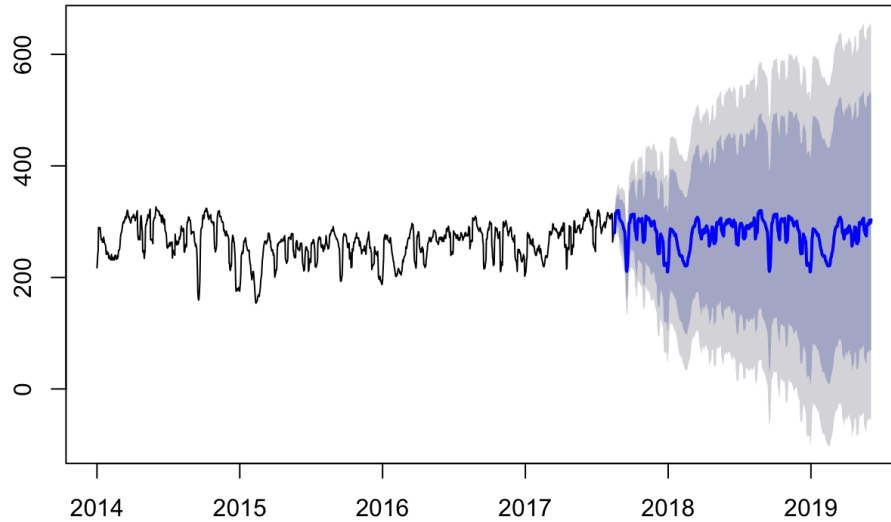


Ilustración 61. Promedio móvil de siete períodos. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Moving Average con 14 periodos

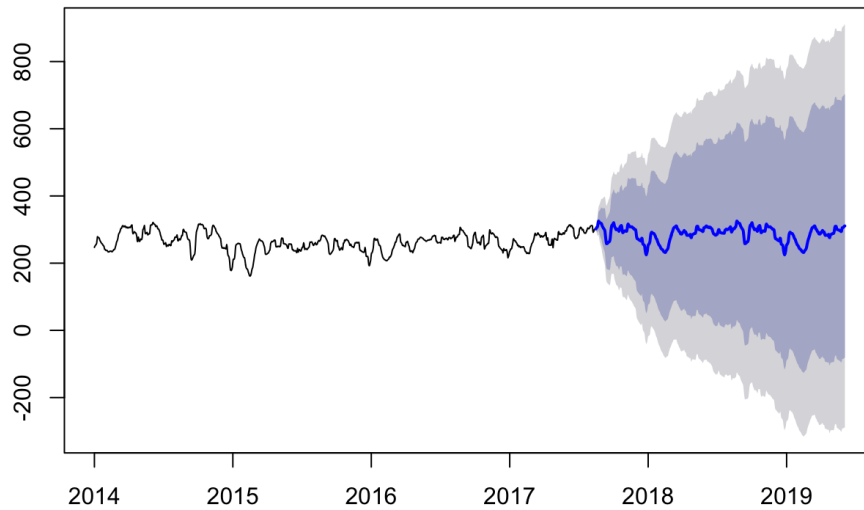


Ilustración 62. Promedio móvil de catorce períodos. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Moving Average con 21 periodos

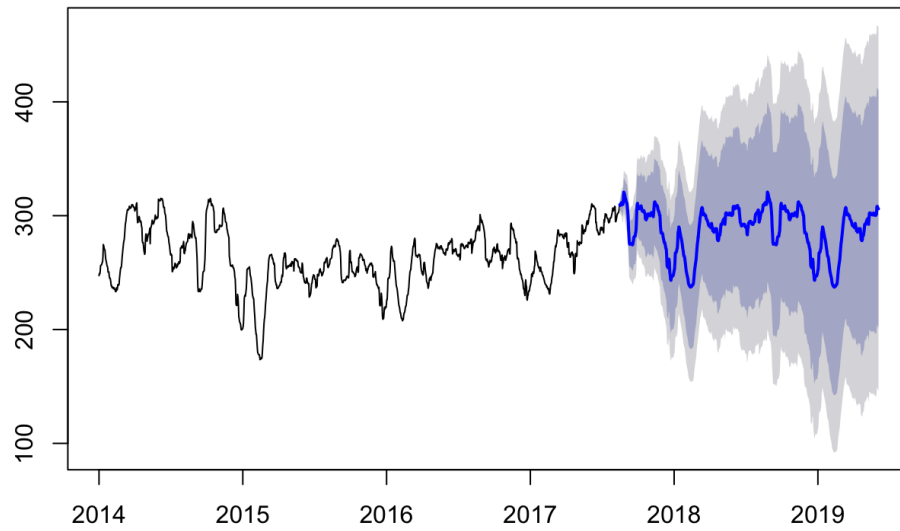


Ilustración 63. Promedio móvil de veintiún periodos. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Moving Average con 28 periodos

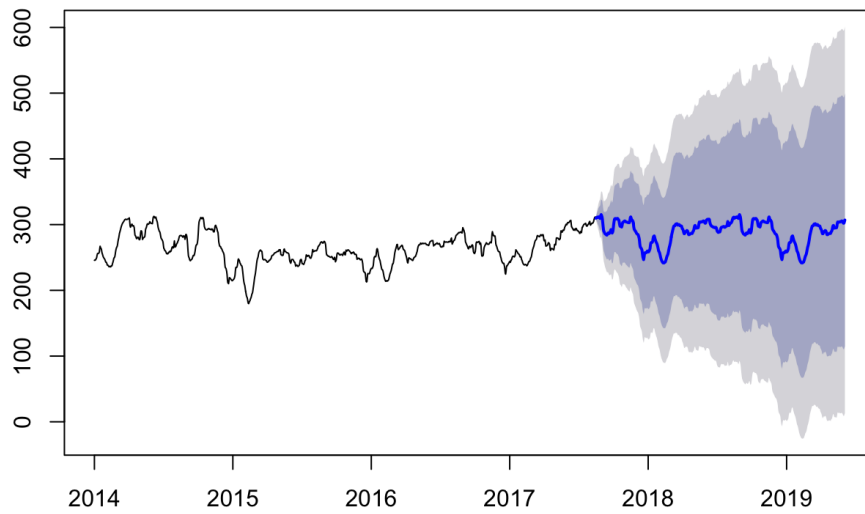


Ilustración 64. Promedio móvil de veintiocho periodos. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Luego, al comparar los promedios móviles de diferentes períodos, se verifica lo siguiente:

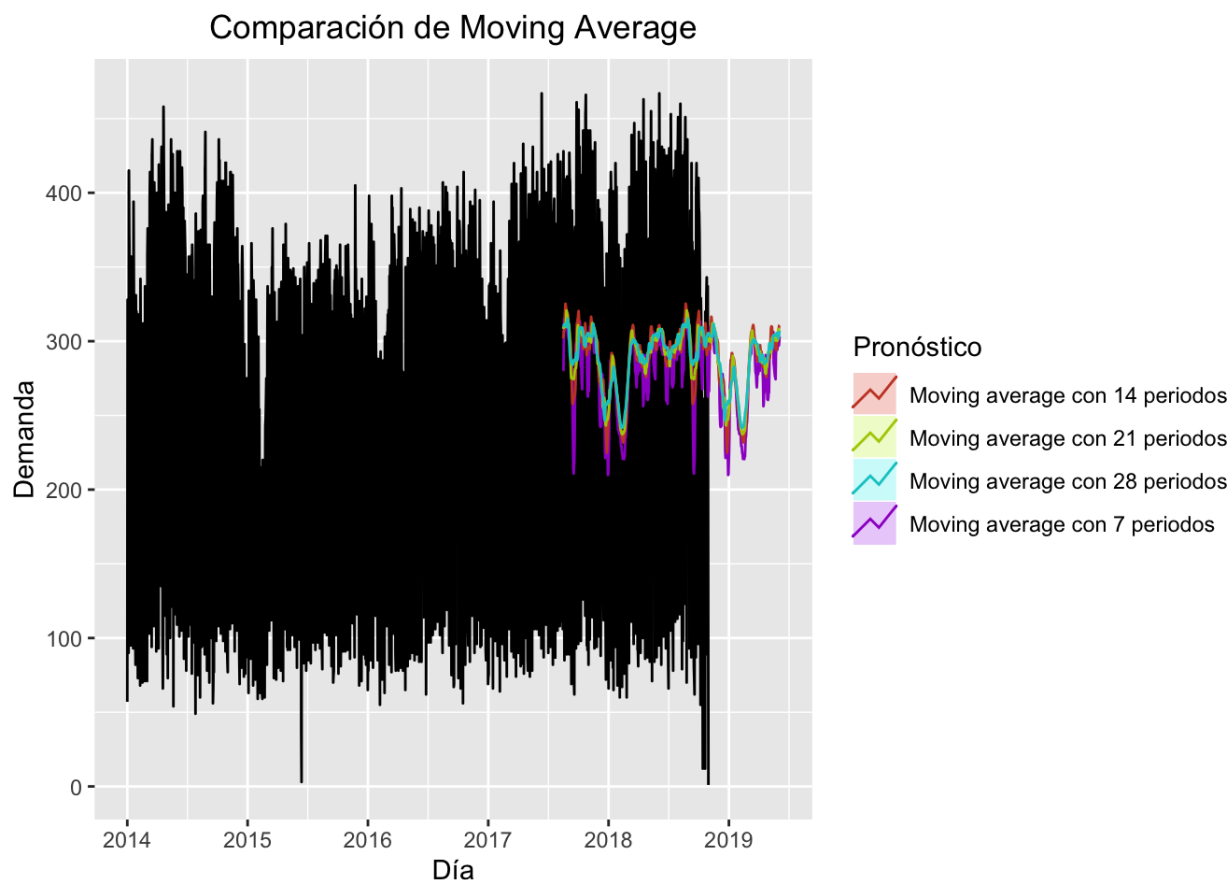


Ilustración 65. Comparación modelos de promedio móviles de diferentes períodos. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Por ende, se puede concluir que, si bien son similares, la media móvil con 14 períodos posee un ajuste mayor a la demanda.

Tabla 7. Valores de MAE y MAPE para modelos de media móvil para 7, 14, 21 y 28 períodos. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Modelo	MAE	MAPE
Modelo Moving Average 7	112,907	142,108
Modelo Moving Average 14	111,936	152,735
Modelo Moving Average 21	112,592	154,289
Modelo Moving Average 28	112,622	156,101

Luego, se comparan los resultados de ARIMA con los datos de prueba en las siguientes ilustraciones:

Forecasts from ARIMA(4,1,1)

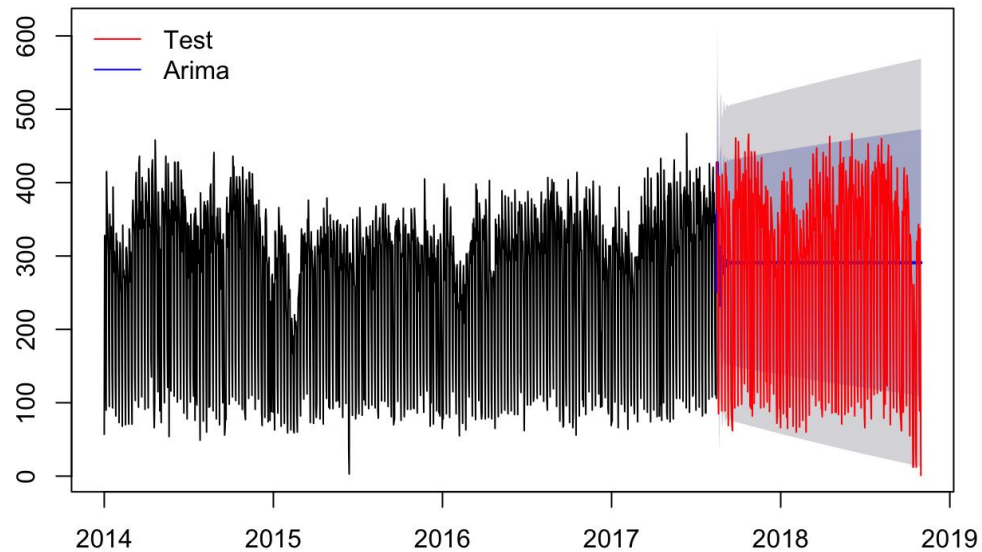


Ilustración 66. Proyección de la demanda diaria usando ARIMA. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Demanda

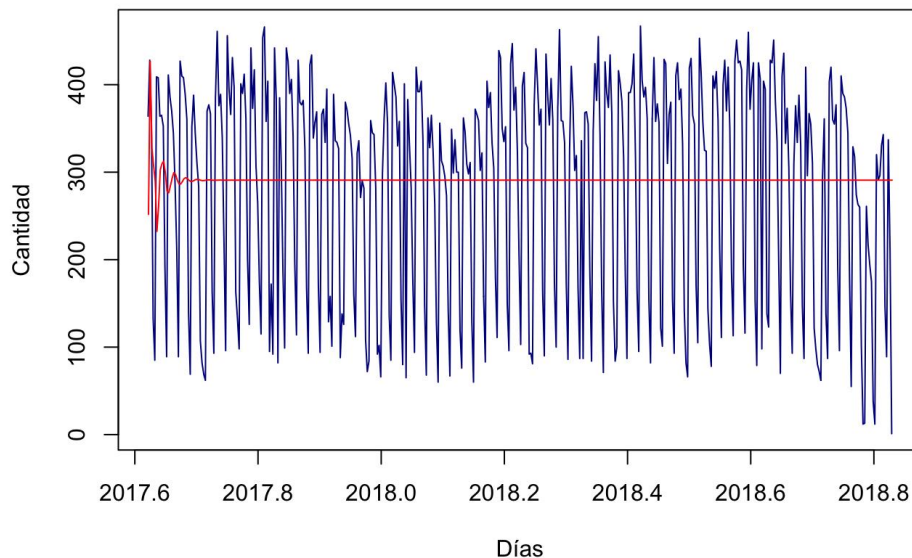


Ilustración 67. Demanda en el CI del HCUCH y ARIMA. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Tabla 8. Valores de ME, RMSE, MAE, MPE, MAPE, MASE, ACF1 para conjuntos de entrenamiento y de prueba para ARIMA(4,1,1).
Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	ACF1
Conjunto de entrenamiento	0,89806	89,234	73,399	-26,559	48,238	0,82688	-0,13323
Conjunto de prueba	- 6,88563	128,9	112,95	- 125,471	152,495	1,27245	0,32596

Luego de ello, se llega a la comparación de proyección de la demanda entre los datos de prueba y ARIMA:

Forecasts from ARIMA(0,1,1)(0,1,0)[12]

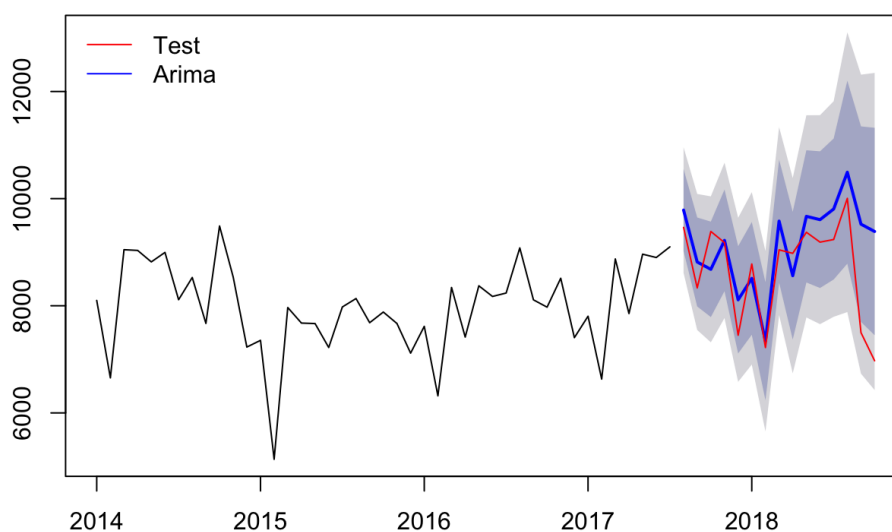


Ilustración 68. Comparación demanda real y proyección ARIMA. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

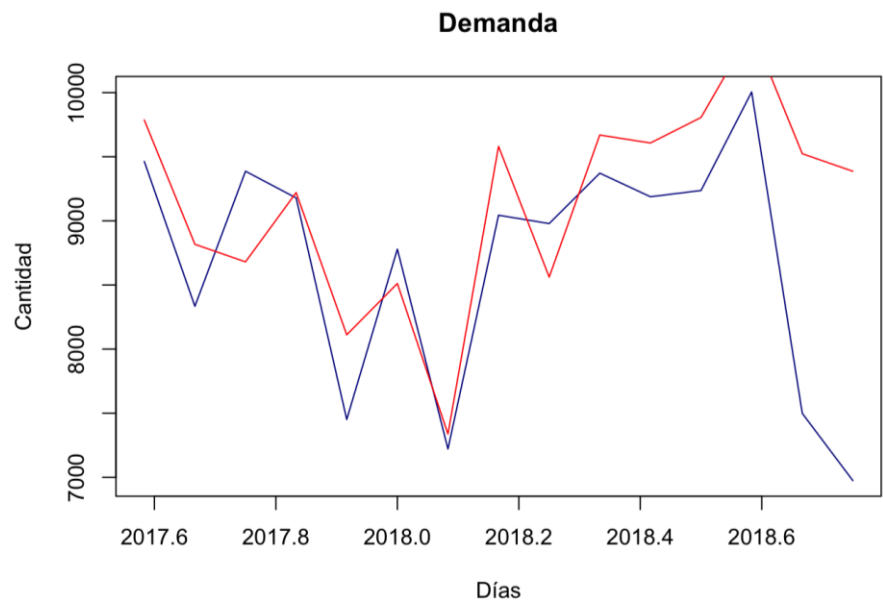


Ilustración 69. Acercamiento de comparación entre demanda real y proyección ARIMA. Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Tabla 9. Valores de ME, RMSE, MAE, MPE, MAPE, MASE, ACF1 para conjuntos de entrenamiento y de prueba para ARIMA(0,1,1)(0,1,0). Elaboración en conjunto con TSC. Fuente: Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	ACF1
Conjunto de entrenamiento	87,934	489,92	320	1,0348	4,2496	0,47234	0,013312
Conjunto de prueba	-465,428	915,42	651,02	-6,0819	8,1123	0,96094	0,390601

En conclusión, gracias a los valores de las Tablas 8 y 9, se verifica un ajuste razonable en comparación con los datos de prueba.

4.1.3 Análisis estadístico de tiempos de realización de informe radiológico

Si bien en el RIS/PACS se mantiene información actualizada sobre los tiempos de pago, comienzo y final de examen, comienzo y validación de informes, no son representativos de la realidad, debido a que muchas veces los radiólogos son interrumpidos por sus pares u otros integrantes del CI por alguna urgencia, un becado puede solicitar revisión de sus tareas, entre otros factores, es por ello que si bien la mayoría de la información se encontraba disponible, el tiempo real de revisión de examen faltaba.

Por lo anterior, se procedió a encontrar un método para agilizar la obtención de los datos de las especialidades de Neurorradiología (NEU), Pediatría (PED), Tórax (TRX), Cuerpo (CPO) y Músculo esquelético (MES), en los exámenes que involucren Rayos X (RX), Resonancia Magnética (RM), Tomografía computada (TC) y Ecografía (ECO), según corresponda. Cabe destacar que el proceso de la especialidad de Mama es diferente al de las anteriores, es por ello que no se tomará en cuenta en los posteriores análisis.

Se llegó a la conclusión de que la mejor forma para recolectar datos de forma eficiente era mediante los mismos radiólogos, los cuales pudieran medir sus tiempos con un Time Tracking desde octubre a diciembre de 2019 para luego realizar un análisis estadístico en conjunto con la base de datos entregada con anterioridad (RIS, 2013-2018)⁸⁷ y verificar su importancia en este proceso.

Con los datos recolectados y en conjunto con el análisis del Capítulo 1, se verifica la siguiente:

Tabla 10. Suma de tiempo en minutos de elaboración de informes radiológicos. Elaboración propia.

Exámenes	Suma de t (Minutos)
ECO	17076,98105
RM	26894,454
RX	7844,033178
TAC	10668,15644
Total minutos	62483,62466

⁸⁷ Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) *Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.*

En general, los procedimientos que toman más tiempo en analizarse son las RM, lo cual es entendible debido a la cantidad de imágenes a analizar junto con el historial médico previo del paciente.

Tabla 11. Tiempos totales en minutos de creación de informes radiológicos. Elaboración propia.

Unidad	Suma de t (Minutos)
CPO	28561,22359
MES	11531,74611
NEU	13174,98861
PED	3274,569145
TRX	5941,097215
Total minutos	62483,62466

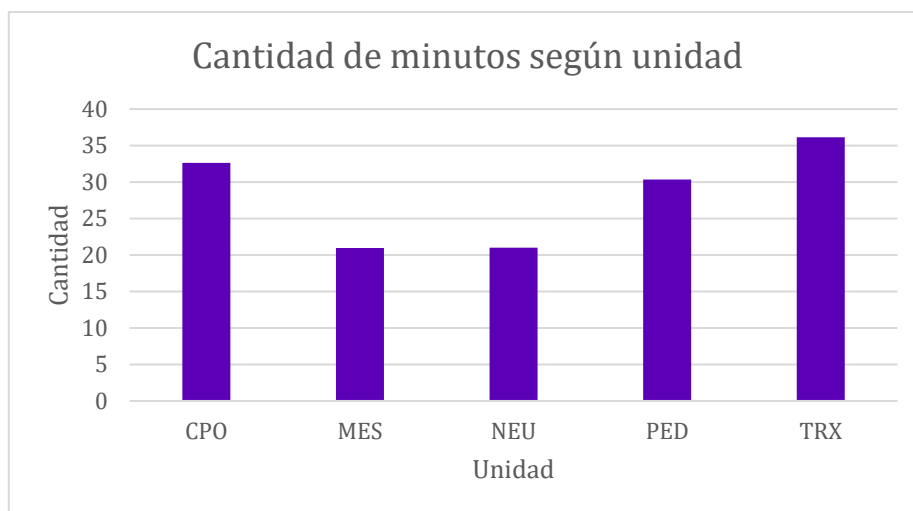


Ilustración 70. Cantidad de minutos según unidad. Elaboración propia.

Al mismo tiempo, se verifica que la mayor cantidad de minutos acumulados es de CPO y pacientes ambulatorios, lo cual se condice con la realidad de la ventana de tiempo estudiada, ya que la mayor cantidad de pacientes era ambulatorios y CPO, fue la mayor cantidad de registros debido a las estaciones del año.

Tabla 12. Tiempos totales en minutos de creación de informes radiológicos según estado de paciente. Elaboración propia.

Estado paciente	Suma de t (Minutos)
Ambulatorio	44929,95588
Ambulatorio urgente	6548,860139
Hospitalizado	11004,80864
Total minutos	62483,62466

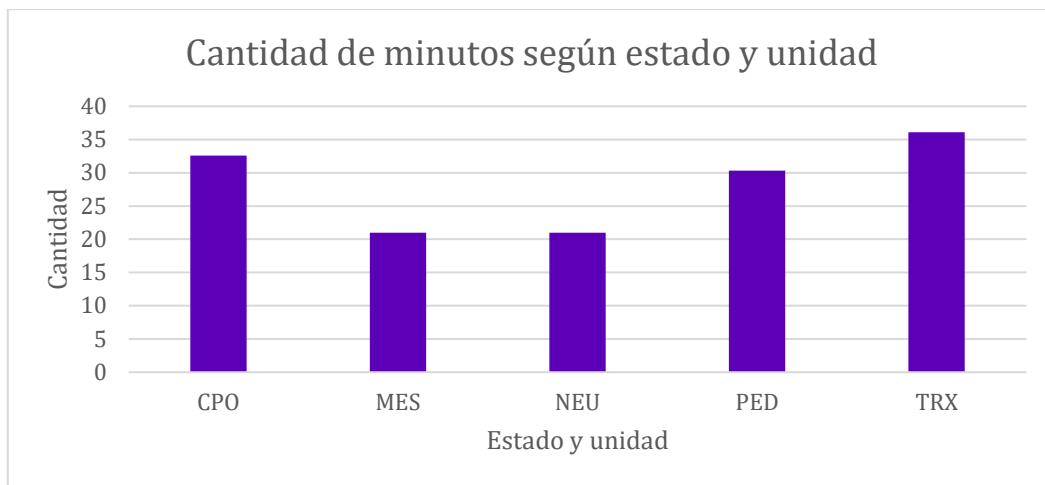


Ilustración 71. Cantidad de minutos según estado de paciente y unidad. Elaboración propia.

En particular, se verifica que la máxima cantidad de minutos según unidad es en promedio 33 minutos, teniendo en cuenta revisión de historial médico, opiniones de colegas, dificultad de la/s imágenes, como sucede con las Resonancias Magnéticas presentes tanto en CPO como en TRX, es decir, las unidades con los mayores máximos.

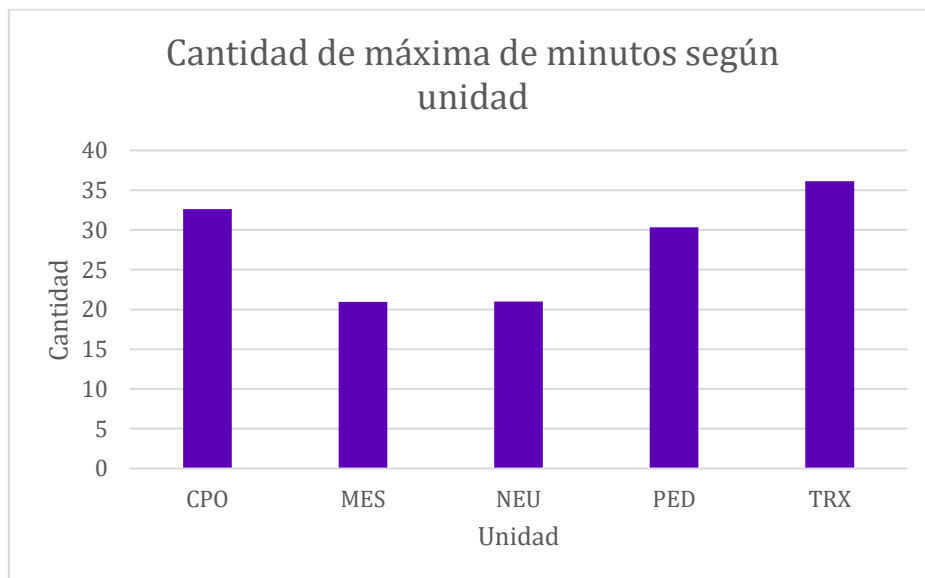


Ilustración 72. Cantidad máxima de minutos según unidad. Elaboración propia.

Paralelamente, se procede a realizar entrevistas a radiólogos de todas las unidades para que con su nivel de experiencia entreguen un estimado en minutos de los tiempos que creen que se demoran realizando un informe radiológico de un examen y unidad en específico, los resultados obtenidos se encuentran en la Tabla 13.

Tabla 13. Tabla de tiempos en que se demoran los Radiólogos en realizar el informe radiológico según Unidad y tipo de examen.

Unidad	Tipo de examen	Tiempo de realización de informe radiológico (min.)
MES	RX	0,5
MES	RM	20
MES	TAC	20
MES	TC	20
MES	ECO	2
NEU	RM	20
NEU	TAC	15
NEU	TC	15
PED	RX	1
PED	RM	30
PED	TAC	15
PED	TC	15
PED	ECO	2
TRX	RX	0,5
TRX	RM	30
TRX	TAC	5
TRX	TC	5
TRX	ECO	2
CPO	RX	3
CPO	RM	20
CPO	TAC	15
CPO	TC	15
CPO	ECO	2

Es importante destacar que al comparar los tiempos del Time tracker y de las entrevistas, eran muy cercanos, lo cual se justifica debido a que los Radiólogos a los que se les realizaron las entrevistas poseen experiencia en el rubro, por ende, los tiempos de los informes radiológicos no les eran ajenos. Lo mismo se ve en la siguiente tabla en donde se verifican los promedio y desviación estándar de tiempos de realización de informes radiológicos según examen.

Tabla 14. Promedio y desviación estándar en minutos del tiempo en que demoran hacer informes radiológicos según examen.
Elaboración propia.

	ECO	RM	RX	TAC
Promedio (min.)	1,7	32,1	4,3	24,2
Desv. Estándar (min.)	0,3	1,2	0,4	2,1

CAPÍTULO 5: PROPUESTA DE DISEÑO DE PROCESOS

5.1 Direcciones de Cambio y Alcance

A continuación, se plantean las direcciones de cambio, su estado actual y lo que propone el rediseño en conjunto con su alcance.

5.1.1 Estructura, empresa y mercado

En esta Dirección de cambio, la Toma de decisiones es el punto fundamental, ya que antes se encontraba descentralizada, pero en el To Be se busca centralizarla, debido a que en particular las decisiones de cantidad de horas radiológicas no era tomada por un ente con fundamentos, por ejemplo, estudio de demanda, sino que se seguía un horario histórico, en cambio, en el To Be se busca que la decisión de cantidad de horas radiológicas la tome el Jefe de la Unidad de Análisis y Gestión del CI y sea comunicada a los Jefes de unidad y los Radiólogos de ellas.

Cabe destacar que las variables sobre Servicio integral al cliente, Lock-in sistémico e Integración con proveedores no se presentan en el AS IS y no se esperan cambios en el TO BE, al igual que en la variable de diseño Estructura interna, la cual se mantiene en su estado de descentralizada.

Tabla 15. Variables de diseño de dirección de cambio: Estructura, empresa y mercado. Elaboración propia.

Variable de Diseño	AS IS	TO BE
Servicio integral al cliente	No	No
Lock-in sistémico	No	No
Integración con proveedores	No	No
Estructura Interna: Centralizada o descentralizada	Descentralizada	Descentralizada
Toma de Decisiones: Centralizada o descentralizada	Descentralizada	Centralizada

5.1.2 Anticipación

En Anticipación se cambian las dos variables de diseño. En particular, la variable Planificación de la capacidad y de recursos no existe en el AS IS, en cambio en el TO BE existe gracias al Modelo de distribución de radiólogos según demanda, luego la variable de Modelo predictivo de congestión no existe en el AS IS, en cambio en el TO BE existen las proyecciones de demanda realizadas en la presente tesis.

Tabla 16. Variables de diseño de dirección de cambio: Anticipación. Elaboración propia.

Variable de Diseño	AS IS	TO BE
Planificación de la capacidad y de recursos	No	Modelo de distribución de radiólogos según demanda
Modelo predictivo de congestión	No	Proyecciones de demanda

5.1.3 Prácticas de trabajo

Referente a las prácticas de trabajo, para la variable Lógica de apoyo a actividades tácticas no existía ningún sistema de apoyo en el AS IS, en cambio en el TO BE se verifica un apoyo de sistema de información para estimar la cantidad de radiólogos necesarios para satisfacer la demanda, luego en la variable Procedimientos de comunicación e integración en el AS IS no existen, en cambio, en el TO BE se verifican que estos procedimientos de comunicación se dan desde el Jefe de la unidad de análisis y gestión hacia los Jefes de unidad, los cuales a su vez tienen el deber de traspasar lo comunicado a los radiólogos de sus unidades. Finalmente, en la variable de Lógica, procedimientos de desempeño y control se ve que en el AS IS no existen, en cambio en el TO BE existe apoyo de sistema de información para reducir atrasos de informes radiológicos, el cual se detallará en el apartado 5.4.

Tabla 17. Variables de diseño de dirección de cambio: Prácticas de trabajo. Elaboración propia.

Variable de Diseño	AS IS	TO BE
Lógica de apoyo a actividades tácticas	No	Apoyo de sistema de información para estimar la cantidad de radiólogos necesarios para satisfacer demanda
Procedimientos de comunicación e integración	No	Los procedimientos de comunicación se dan desde el Jefe de la unidad de análisis y gestión hacia los

		Jefes de unidad
Lógica, procedimientos de desempeño y control	No	Apoyo de sistema de información para reducir atrasos de informes radiológicos

5.1.4 Integración de procesos conexos

Las variables de diseño Todos o la mayor parte de los procesos de un macroproceso, en el AS IS no se presenta, en cambio en el TO BE se quiere aumentar la interacción entre los procesos de Análisis de demanda, análisis de cantidad de personal, creación de propuestas y análisis de factibilidad de cambios en la Gestión del personal, debido a la solución encontrada para disminuir los atrasos de informes radiológicos.

Cabe destacar que las variables sobre Proceso aislado y Dos o más macroprocesos que interactúan no se presentan en el AS IS y no se esperan cambios en el TO BE.

Tabla 18. Variables de diseño de dirección de cambio: Integración de procesos conexos. Elaboración propia.

Variable de Diseño	AS IS	TO BE
Proceso aislado	No	No
Todos o la mayor parte de los procesos de un macroproceso	No	Aumentar la interacción entre los procesos de Análisis de demanda, análisis de cantidad de personal, creación de propuestas y análisis de factibilidad de cambios en la Gestión del personal
Dos o más macroprocesos que interactúan	No	No

5.1.5 *Mantenimiento consolidada de estado*

La variable de diseño Datos propios si bien se presenta en el AS IS, en el TO BE se detalla que el sistema de apoyo a la gestión diseñado utiliza los datos de RIS, lo cual es destacable ya que así se pueden tomar decisiones tácticas con los datos reales del HCUCH.

Cabe destacar que las variables sobre Integración de datos con otros sistemas de la empresa e Integración de datos con sistemas de empresas externas no se presentan en el AS IS y no se esperan cambios en el TO BE.

Tabla 19. Variables de diseño de dirección de cambio: Mantenimiento consolidada de estado. Elaboración propia.

Variable de Diseño	AS IS	TO BE
Datos propios	Sí	El sistema de apoyo a la gestión diseñado utiliza los datos de RIS
Integración de datos con otros sistemas de la empresa	No	No
Integración de datos con sistemas de empresas externas	No	No

5.2 Arquitectura de Procesos To Be

Como se comentó en el apartado 4.1, las macros representadas en las Ilustraciones 39, 40 y 41 no poseen cambios en esta oportunidad, pero el macroproceso de Gestión del personal sí, ya que si bien antes no se utilizaba, ahora comienza a ser parte importante de la arquitectura de procesos To Be, como se muestra a continuación:

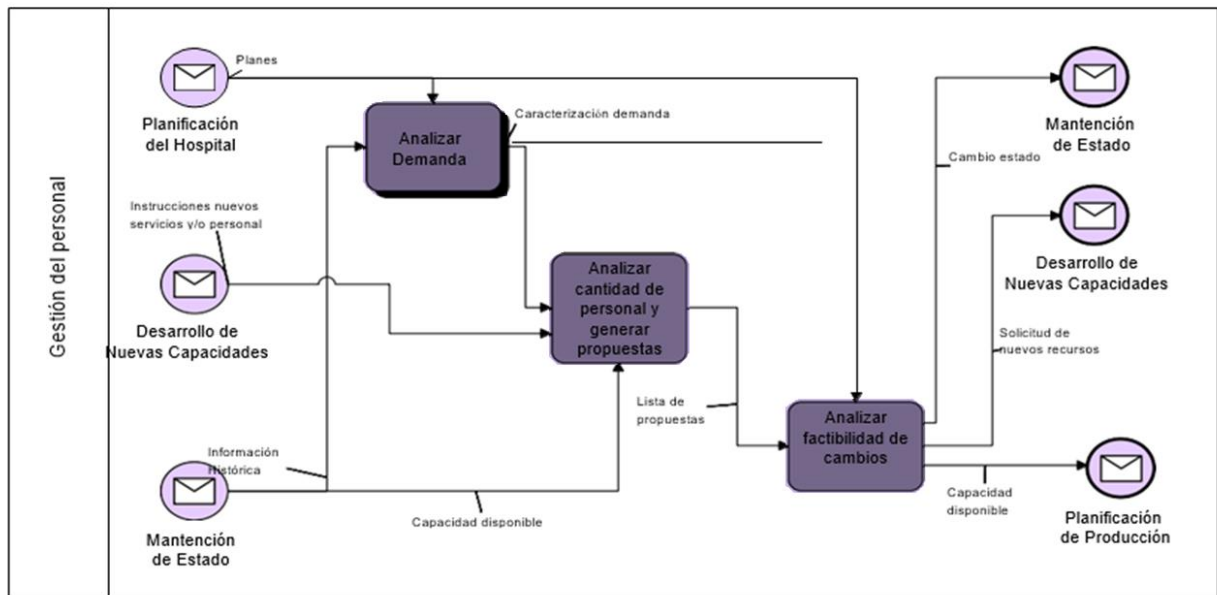


Ilustración 73. Patrón de arquitectura de procesos para hospitales: Gestión de personal. Elaboración propia.

En definitiva, con respecto a este macroproceso, se verifica un diseño más que un rediseño, ya que estos procesos no se realizaban con anterioridad, en cambio ahora podrán analizar la demanda y crear proyecciones para luego analizar y gestionar al personal mediante turnos o distribución de ellos. En particular, para la distribución de radiólogos según la demanda, se destaca el modelo de optimización lineal con el cual se podrán generar propuestas para luego evaluarlas.

5.3 Diseño Detallado de Procesos TO BE

5.3.1 Diseño en BPMN

En específico, se agrega el lane de Jefe/a de Unidad de Análisis y Gestión del CI, el cual será el/la usuario/a principal del apoyo tecnológico, el cual podrá generar turnos según la demanda entregada por el RIS para luego tomar decisiones estratégicas/tácticas en relación a ellos para luego comunicar los turnos.

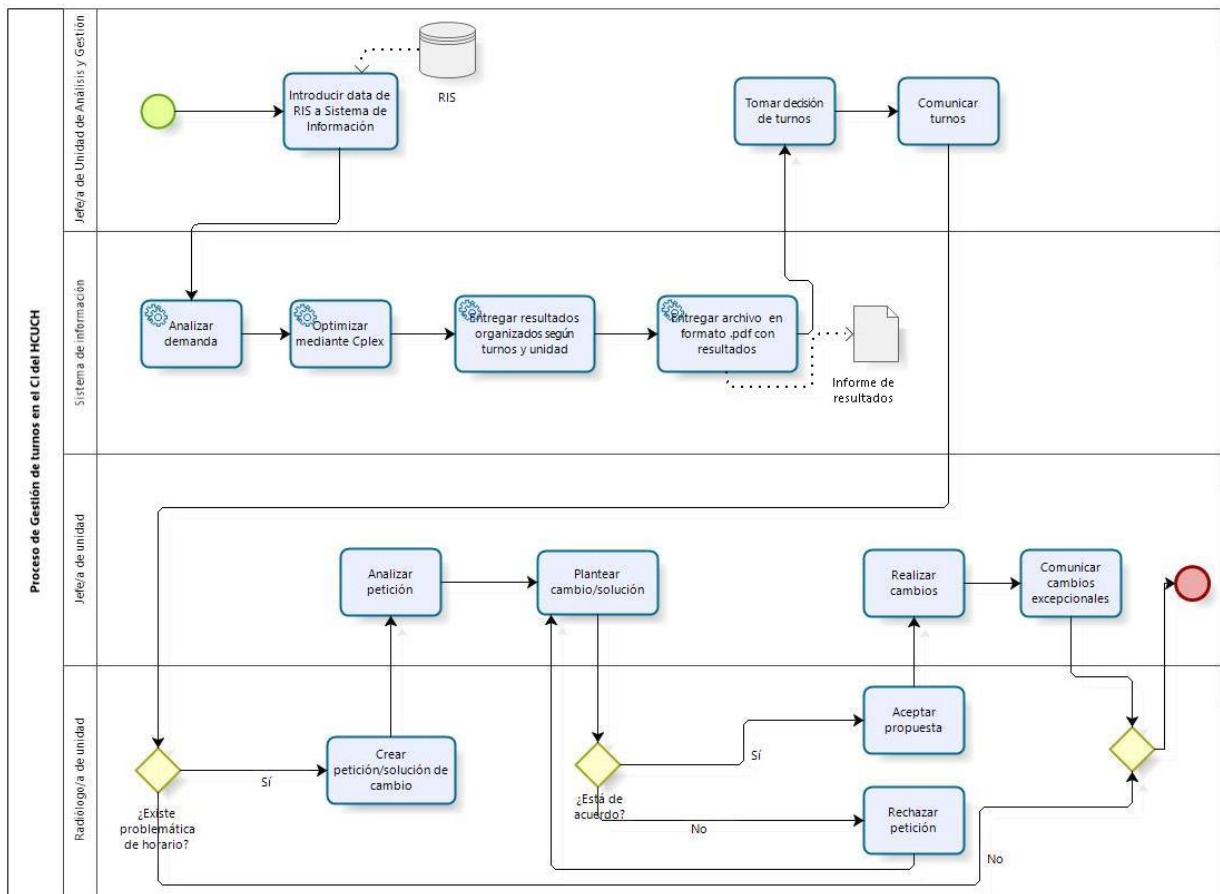


Ilustración 74. Proceso TO BE de gestión de turnos radiológicos en CI del HCUCH. Elaboración propia.

Cabe destacar que si los radiólogos de alguna unidad poseen problemáticas con los turnos asignados, podrán llegar a un acuerdo con el jefe de su unidad.

5.4 Diseño de Lógica de Negocios

La lógica de negocios utilizada se centra en un NSP modificado para los radiólogos del CI del HCUCH, en donde, el objetivo es múltiple, es decir, abarca diversos ámbitos, creando un peso o valoración por cada aspecto.

Conjuntos:

- **N:** Conjunto de radiólogos.
- **J:** Conjunto de turnos.
- **P:** Conjunto de períodos.
- **D:** Conjunto de días.
- **W:** Conjunto de períodos asignados.
- **Q:** Conjunto de especialidades.
- **K:** Conjunto de semanas en períodos asignados.

Parámetros:

- x_{jk} : Número de radiólogos requeridos para trabajar en el turno j en semana k.
- h_{jp} : 1 si el turno j contiene el período p, 0 si no.
- f_{dj} : 1 si el turno j contiene al día d, 0 si no.
- s_{jq} : 1 si el turno j contiene la especialidad q, 0 si no.
- LS_{qdp} : Cota inferior de radiólogos requeridos por especialidad q en el período p en el día
- V_q : Peso de que falte un radiólogo de especialidad q.
- N : Número total de radiólogos.
- H : Número de semanas en período asignado.
- G : Número de semanas en el horizonte asignado.
- $LSSum_q$: Parámetro LS sumado en períodos p y días d
- θ_1 : Peso de sección de especialidad.
- θ_2 : Peso de sección de productividad.

Variables de decisión:

- $n_{ijk} : \begin{cases} 1 & \text{Si radiólogo } i \text{ es designado al turno } j \text{ en semana } k \\ 0 & \text{Si no.} \end{cases}$
- s_{qdpk} : Número de radiólogos de especialidad q bajo la cota inferior LS.

Restricciones:

$$\sum_{i \in N} n_{ijk} = x_j \quad \forall j \in J, k \in K \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J, i \in N} s_{iq} n_{ijk} h_{jp} f_{dj} + s_{qdp} \geq LS_{qdp} \quad \forall q \in Q, d \in D, p \in P, k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} n_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N, k \in K \quad (3)$$

$$s_{qdp} \geq 0 \quad \forall q \in Q, d \in D, p \in P \quad (4)$$

$$n_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, j \in J, k \in K \quad (5)$$

Función objetivo:

$$\text{Máx } A + B$$

$$A = \theta_1 \sum_{q \in Q, d \in D, p \in P} \frac{V_q}{\sum_{q \in Q} V_q} \frac{LS_{qdp} - s_{qdp}}{LSSum_q} \quad (8)$$

$$B = \theta_2 \sum_{i \in N, j \in J} n_{ij} \quad (9)$$

En un comienzo se definen los conjuntos y parámetros utilizados para el NSP basado en Tontarski, C. (2015)⁸⁸. Cabe destacar que las variables de decisión son binarias y enteras, lo cual es un punto relevante, ya que usualmente en los problemas enteros mixtos el tiempo de resolución tiende a subir, pero en este caso este problema se evita combinando restricciones y así eliminando una gran cantidad de variables que no necesariamente se ocupaban.

En cuanto a las restricciones, la (1) asegura que la suma de todos los radiólogos debe igualar al número de radiólogos solicitado según el parámetro inicial, luego en (2) se ve define la cota inferior para el número de radiólogos de una especialidad q, los cuales deben estar disponible por cada período, día y semana. Cabe destacar que si no hay radiólogos para cubrir una especialidad en particular dado por la cota inferior, la variable de holgura aumenta hasta que se complete esa diferencia, lo cual facilita la computación de la misma. La restricción (3) establece que cada radiólogo puede tener asignado una cantidad mayor o igual a cero de exámenes en cada periodo. Finalmente,

⁸⁸ Tontarski, C. (2015) *Modeling and Analysis of OR Nurse Scheduling Using Mathematical Programming and Simulation*

la (4) y (5) representan la naturaleza de variables, es decir, entera en el caso de (4) y binaria en el caso de (5).

Para la función objetivo múltiple, se tiene la primera sección A, la cual es definida por la ecuación (8), en donde se maximiza el porcentaje de tiempo en que un examen es revisado por un radiólogo de especialidad. Por el contrario, la segunda sección, B, se define por la ecuación (9), la cual maximiza la cantidad de horas radiólogo que le tocan a cada uno. La importancia que se le asigna a cada sección se verifica usando los parámetros θ_1 and θ_2 , los cuales actúan como peso para A y B, respectivamente.

Cabe destacar que los inputs necesarios para el modelo son entradas de exámenes con:

1. Fecha de toma de examen.
2. Hora de término del examen.
3. Área.
4. Unidad.
5. Nombre del examen.

En definitiva, todos los datos necesarios para entregarle al modelo se pueden obtener de forma directa del RIS. Un ejemplo de los inputs necesarios se muestran a continuación:

Tabla 20. Ejemplo input datos para modelo de asignación de horas radiólogo para CI del HCUCH. Elaboración propia. Fuente: Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018.

Fecha (dd-mm-aaaa)	Área (RX, TAC, RM, ECO)	Hora de término de examen (hh:mm:ss)	Unidad (MES, TRX, NEU, CPO, PED)	Estado (Hospitalizado, Ambulatorio, Ambulatorio urgente)	Nombre examen
30-07-2018	TAC	16:35:53	CPO	Ambulatorio urgente	CPO AngioTC de Abdomen
30-07-2018	TAC	15:18:26	CPO	Ambulatorio	CPO AngioTC de Abdomen
30-07-2018	TAC	13:05:12	CPO	Ambulatorio	CPO AngioTC de Abdomen
30-07-2018	TAC	13:05:09	CPO	Ambulatorio	CPO AngioTC de Abdomen
30-07-2018	TAC	13:05:06	CPO	Ambulatorio	CPO AngioTC de Abdomen
30-07-2018	TAC	13:06:32	CPO	Ambulatorio	CPO AngioTC de Abdomen
30-07-2018	TAC	13:06:35	CPO	Ambulatorio	CPO AngioTC de Abdomen
30-07-2018	TAC	12:54:42	CPO	Ambulatorio	CPO AngioTC de Abdomen
30-07-2018	TAC	12:54:42	CPO	Hospitalizado	CPO AngioTC de Abdomen
30-07-2018	TAC	12:54:42	CPO	Ambulatorio	CPO AngioTC de Abdomen
30-07-2018	TAC	11:05:53	CPO	Ambulatorio	CPO AngioTC de Abdomen

Los outputs del modelo la cantidad de horas radiólogo necesarias por día, turno (AM: Desde 00:00 hrs. hasta 11:00 hrs.- PM: Desde 12:00 hasta 23:59 hrs.) y por unidad según los inputs ingresados como también el error relativo individual de cada lato representado en porcentaje.

CAPÍTULO 6: PROPUESTA DE APOYO TECNOLÓGICO

6.1 Especificación de Requerimientos

6.1.1 *Requerimientos Funcionales*

- El sistema debe recibir datos extraídos del RIS para verificar según demanda real la distribución de horas radiólogo según día, turno y unidad.
- Los inputs deben estar en formato .xlsx, ellos serán los registros de exámenes de una ventana de tiempo, por ejemplo, un día los cuales deberán contener fecha de realización del examen, hora de término del examen, nombre del examen, área y unidad. Estos datos se pueden obtener del RIS del CI del HCUCH.
- Los outputs que se esperan del sistema son una tabla con la cantidad de horas radiólogo asignadas por día en una semana, turno (AM-PM) y unidad, en conjunto con el error individual de los datos expresado en porcentaje. A su vez el sistema provee estos mismos resultados en un informe en formato .pdf que detalla los parámetros de la optimización y el error individual.
- Los datos contenidos en el sistema como parámetros previos pueden ser cambiados en cualquier momento y son principalmente la cantidad de unidades y áreas con sus respectivos nombres, tiempos empíricos de demora en creación de informes radiológicos de cada examen, protocolos de tiempo máximo de informe para pacientes urgentes, ambulatorios y hospitalizados.

6.1.2 *Requerimientos No Funcionales*

- Como criterios de desempeño se verifica que los tiempos de respuesta deseados para la actualización de datos en el nuevo sistema sea menor a 120 segundos.
- En cuanto a la Usabilidad se verifica que posee un alto nivel de usabilidad obtenido gracias a la aplicación de la encuesta de Usabilidad del Anexo 2, la cual fue contestada por el Jefe de la Unidad de Análisis y Gestión de información. Sus resultados fueron los siguientes:

Tabla 21. Resultados de encuesta de usabilidad de Aplicación web. Elaboración propia.

		Total
1	El software es útil	5
2	El software me parece atractivo	4
3	El software es fácil de usar	5
4	El lenguaje utilizado por el software es el adecuado	5
5	El software permite ver datos relevantes del paciente	4
6	El software genera sugerencias que facilitan la gestión de horas radiólogo	5
7	El software genera porcentaje de error aproximado	5
8	El software es un buen apoyo para la toma de decisiones del usuario	5
9	El software se integra de forma adecuada a mi forma de trabajo	5

En donde se observan que los puntajes mayores se encuentran en los puntos 1,3,4, 6, 7, 8 y 9. A su vez los puntajes menores, es decir, los cuales se pueden mejorar son el 2 y 5.

- La mínima memoria RAM requerida es de 4,0 GB en conjunto con un procesador al menos Core i3.
- Al mismo tiempo, en cuanto a la Exactitud se crea el error individual porcentual el cual se calcula como el error de la optimización global, dividido en la cantidad de resultados entregados.
- Paquete de Microsoft Office⁸⁹ que contenga Excel y posea la opción de Desarrollador y, por ende, VBA para Macros activada, la cual corresponde a 55USD anual.
- Licencia de Gurobi⁹⁰ correspondiente a 20.000USD anual, en conjunto con el primer año de mantención, el cual equivale a 4.000USD.

⁸⁹Microsoft 365 (2020) *Encuentra la solución adecuada para ti.* <https://www.microsoft.com/es-cl/microsoft-365/buy/compare-all-microsoft-365-products>

⁹⁰ AMPL (2020) *A AMPL STANDARD PRICE LIST.* Recuperado desde <https://ampl.com/products/standard-price-list/>

6.2 Arquitectura Tecnológica

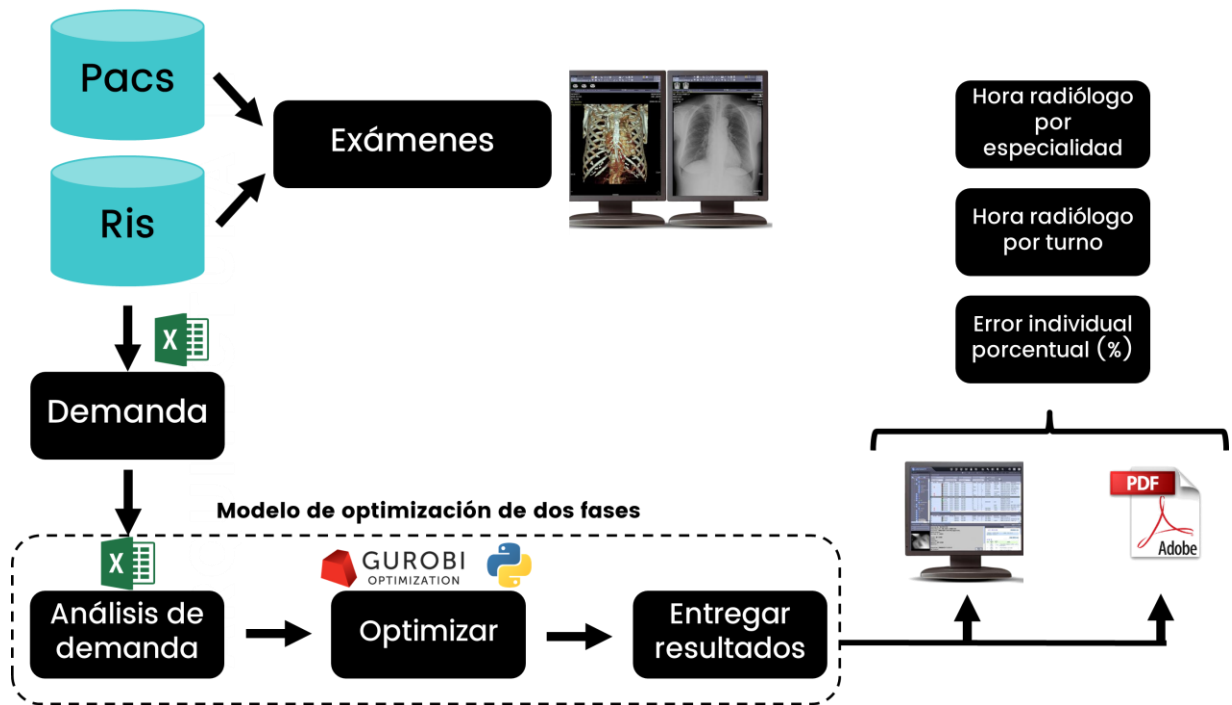


Ilustración 75. Arquitectura Tecnológica para prototipo funcional del CI del HCUCH. Elaboración propia.

Como se mencionó previamente gracias al Sistema RIS-PACS los exámenes pueden ser visualizados, entonces gracias a los datos del RIS se puede verificar la demanda diaria o de una ventana de tiempo predeterminada, la cual será utilizada como input en formato .xlsx, al mismo tiempo esta plantilla posee un botón que activa una macro programada en VBA.

La macro anterior verifica que todos los datos ingresados estén correctos, para luego cambiar los datos de algunas columnas por índices o números para una indexación más fácil en el modelo de optimización, por ejemplo:

1. **Datos de Unidad:** MES = 0, TRX = 1, NEU = 2, CPO = 3, PED = 4.
2. **Datos de Área:** RX = 0, RM = 1, TAC/TC = 2, ECO = 3.
3. **Estado de paciente:** Ambulatorio = 0, Hospitalizado = 1, Urgente = 2.
4. **Indexación de horas:** Se indexan en períodos de 30 minutos de lunes a domingo desde el número 0 hasta el 335 (Ver Anexo 1).

Luego, la macro guarda los datos de la planilla. Acto seguido, el usuario sube la planilla a la vista inicial siguiendo las indicaciones de la misma y aprieta el botón “Enviar”, en ese momento el modelo de optimización programado en Python comienza a funcionar gracias al optimizador Gurobi, para finalmente conectar este modelo con la vista final y poder mostrar los resultados pedidos.

6.3 Diseño de la Aplicación

6.3.1 Casos de Uso

A continuación, se presentan los casos de uso como su respectivo diagrama:

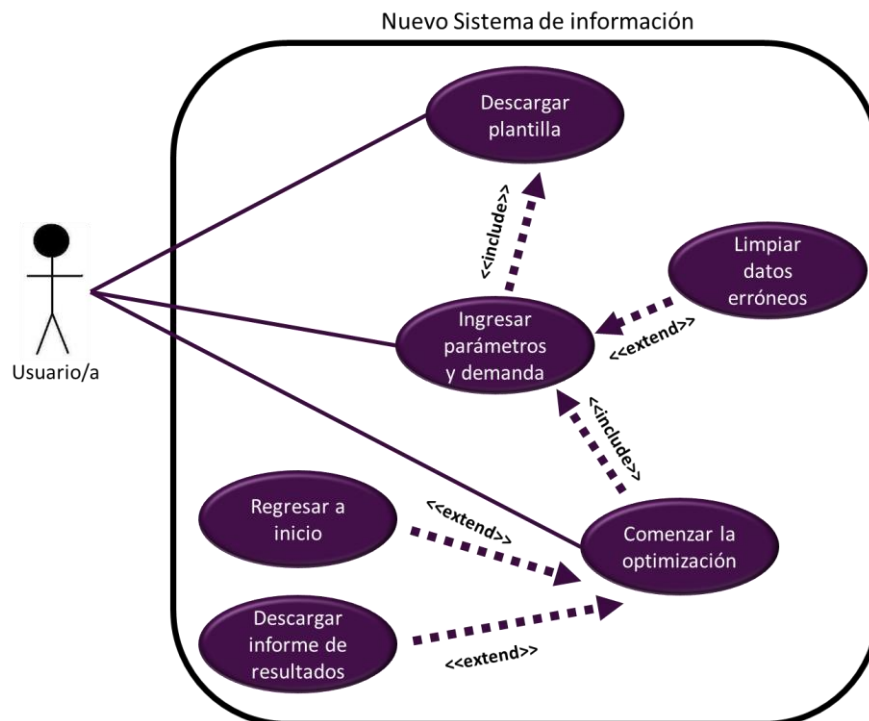


Ilustración 76. Casos de uso proyecto. Elaboración propia.

Código: CU01.

1. **Nombre:** Descargar plantilla.
2. **Actores:** Usuario/a.
3. **Descripción:** El usuario ingresa a la plataforma y descarga la plantilla necesaria para la optimización.
4. **Pre-condición:** Ninguna.
5. **Post-condición:** Si la plantilla es descargada, se puede realizar el CU02.
6. **Flujo principal:**
 - a. El/La usuario/a ingresa a la plataforma.
 - b. El/La usuario/a clickea en el link llamado “*Plantilla*”.
 - c. La plantilla se descarga.

Código: CU02.

1. **Nombre:** Ingresar parámetros y demanda.
2. **Actores:** Usuario/a.
3. **Descripción:** Se rellena la plantilla y se sube a la plataforma.
4. **Pre-condición:** CU01 debe realizarse de forma previa.
5. **Post-condición:** Si la plantilla es rellena y cargada en la plataforma, se puede realizar el C03.
6. **Flujo principal:**
 - a. El/La usuario/a rellena la plantilla con la demanda y los parámetros específicos.
 - b. El/La usuario/a guarda la plantilla.
 - c. El/La usuario/a carga la plantilla a la plataforma.
7. **Flujo alternativo:**
 - c.1. Se realiza el CU04.
 - d. El/La usuario/a carga la plantilla a la plataforma.

Código: CU03.

1. **Nombre:** Comenzar la optimización.
2. **Actores:** Usuario/a.
3. **Descripción:** El/La usuario/a envía los datos para comenzar la optimización en el sistema de información.
4. **Pre-condición:** CU02 debe realizarse de forma previa.
5. **Post-condición:** Ninguna.
6. **Flujo principal:**
 - a. El/La usuario/a clickea en el botón “*Enviar*”.
 - b. El sistema de información comienza a analizar los datos proporcionados.
 - c. El sistema de información optimiza los datos con respecto a un modelo de asignación definido.
 - d. El sistema de información muestra los resultados de la optimización en una vista.
7. **Flujo alternativo:**
 - d.1. Se realiza CU05.
 - d.2. Se realiza CU06.

Código: CU04.

1. **Nombre:** Limpiar datos erróneos.
2. **Actores:** Usuario/a.
3. **Descripción:** El sistema borra la planilla cargada con anterioridad.
4. **Pre-condición:** La planilla ingresada con anterioridad es errónea.
5. **Post-condición:** El sistema queda vacío nuevamente, podrá ser cargado con una nueva planilla luego de esto.
6. **Flujo principal:**
 - a. El/La usuario/a clickea en botón “*Limpiar*”.
 - b. El sistema borra la planilla cargada con anterioridad.

Código: CU05.

1. **Nombre:** Regresar a inicio.
2. **Actores:** Usuario/a.
3. **Descripción:** Se vuelve a la página de inicio.
4. **Pre-condición:** No estar en la página de inicio.
5. **Post-condición:** Ninguna.
6. **Flujo principal:**
 - a. El/La usuario/a clickea en botón “*Volver*”.
 - b. El sistema proyecta la vista de Inicio.

Código: CU06.

1. **Nombre:** Descargar informe de resultados.
2. **Actores:** Usuario/a.
3. **Descripción:** Se descarga el informe de resultados, parámetros y supuestos en formato .pdf.
4. **Pre-condición:** Se debe haber realizado el CU03.
5. **Post-condición:**
6. **Flujo principal:**
 - a. El/La usuario/a clickea en botón “*Download*”.
 - b. El sistema descarga el informe de resultados en formato .pdf.

6.3.2 Diagramas de Secuencia

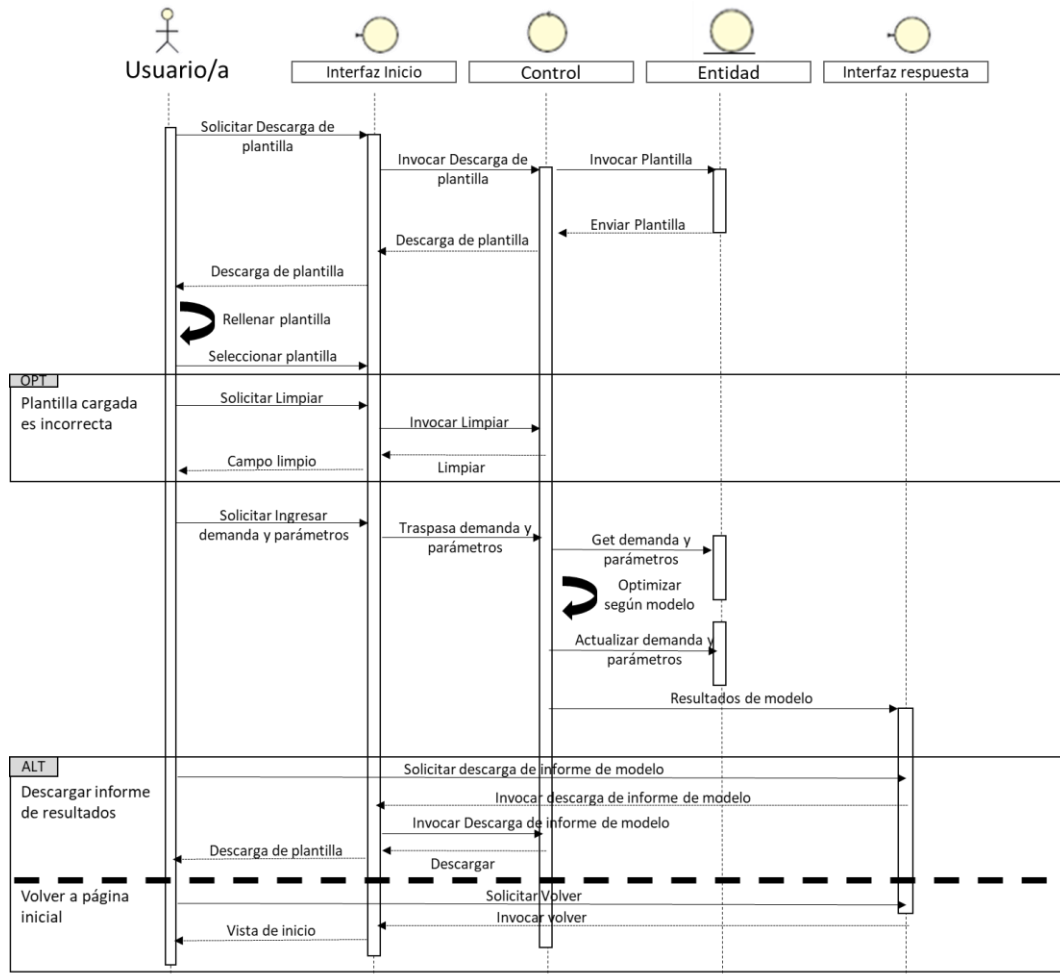


Ilustración 77. Diagrama de secuencia. Elaboración propia.

El proceso comienza cuando el/la usuario/a solicita la descarga de la plantilla, luego de que esta se haya descargado, el/la usuario/a la debe rellenar y luego seleccionar en la plataforma. En este punto si se selecciona la plantilla errónea, existe la posibilidad de pedir que se limpie el campo.

Luego de lo anterior, se selecciona nuevamente la plantilla y se solicita el ingreso de esta plantilla que contiene la demanda y parámetros para así poder alimentar el modelo de optimización y resolverlo.

Finalmente, se despliegan los resultados en la interfaz de respuesta para luego decidir si descargar el informe de resultados o volver a la página inicial.

6.3.3 Diagramas de Clases

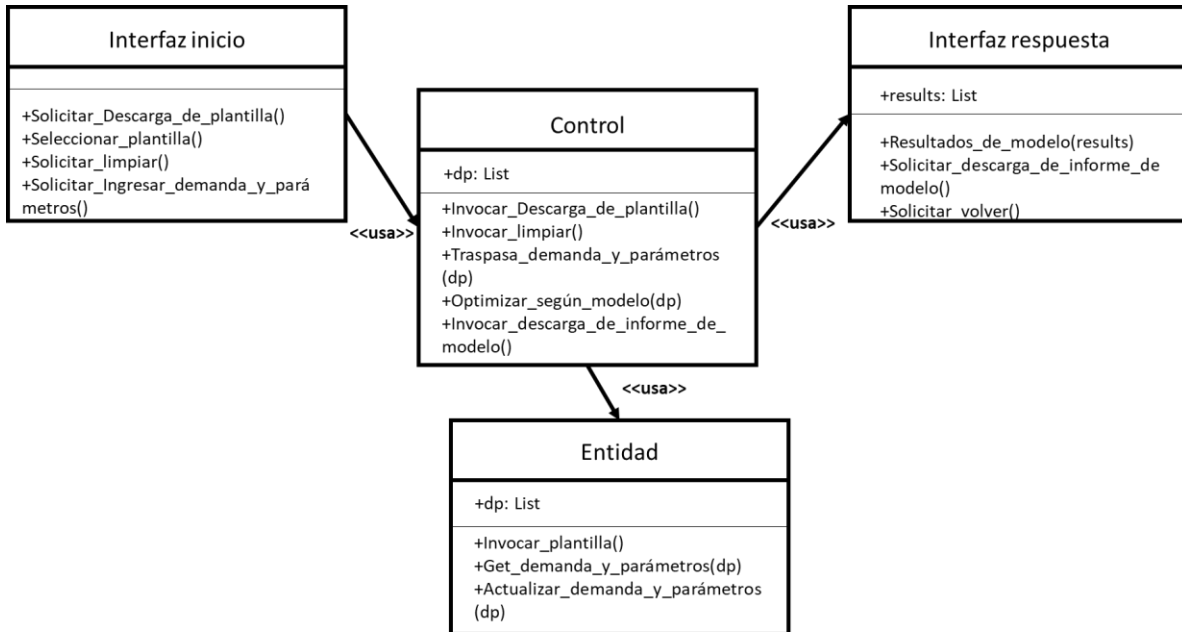


Ilustración 78. Diagrama de clases. Elaboración propia.

El diagrama de clases de la Ilustración anterior se basa en MVC, es decir, Modelo-Vista-Controlador, es por ello que se presentan los dos tipos de vistas o interfaz: Inicio y Respuesta. La interfaz inicio hace referencia a la primera vista de la plataforma en donde se encuentran las instrucciones de manejo de la plataforma y el lugar para descargar y cargar la plantilla, en cambio, en la interfaz de respuesta se encuentran los resultados de la optimización y la opción de descargar el informe de resultados. A su vez, el Control se preocupa principalmente de realizar la Lógica de negocio y coordinar los otros procesos, es decir, en este caso el modelo de asignación acomodado para este caso. Luego, la Entidad entrega la información de los datos del problema, por ejemplo, la demanda y parámetros que serán utilizados por el modelo de optimización.

6.4 Prototipo Funcional Desarrollado


El prototipo funcional desarrollado cuenta con las siguientes partes principales:


1. **Plantilla en formato .xlsx:** Contiene los columnas con datos mínimos requeridos por el modelo. Cabe destacar que la plantilla contiene una macro programada en VBA, la cual ajusta los datos entregados para que se codifiquen de la forma correcta en el modelo de optimización, por ejemplo, transformar los estados de los pacientes en números.

INGENIERIA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE CHILE		Presione AQUÍ para guardar			HOSPITAL CLINICO UNIVERSIDAD DE CHILE	
Fecha (dd-mm-aaaa)	Área (RX, TAC, RM, ECO)	Hora de término de examen (hh:mm:ss)	Unidad (MES, TRX, NEU, CPO, PED)	Estado (Hospitalizado, Ambulatorio, Ambulatorio urgente)	Nombre examen	
30-07-2018	TAC	16:35:53	CPO	Ambulatorio urgente	CPO AngioTC de Abdomen	
30-07-2018	TAC	15:18:26	CPO	Ambulatorio	CPO AngioTC de Abdomen	
30-07-2018	TAC	13:05:12	CPO	Ambulatorio	CPO AngioTC de Abdomen	
30-07-2018	TAC	13:05:09	CPO	Ambulatorio	CPO AngioTC de Abdomen	
30-07-2018	TAC	13:05:06	CPO	Ambulatorio	CPO AngioTC de Abdomen	
30-07-2018	TAC	13:06:32	CPO	Ambulatorio	CPO AngioTC de Abdomen	
30-07-2018	TAC	13:06:35	CPO	Ambulatorio	CPO AngioTC de Abdomen	
30-07-2018	TAC	12:54:42	CPO	Ambulatorio	CPO AngioTC de Abdomen	
30-07-2018	TAC	12:54:42	CPO	Hospitalizado	CPO AngioTC de Abdomen	
30-07-2018	TAC	12:54:42	CPO	Ambulatorio	CPO AngioTC de Abdomen	
30-07-2018	TAC	11:05:53	CPO	Ambulatorio	CPO AngioTC de Abdomen	
30-07-2018	TAC	11:47:52	CPO	Ambulatorio	CPO AngioTC de Abdomen	
30-07-2018	TAC	18:25:35	CPO	Ambulatorio	CPO AngioTC de Abdomen	

Ilustración 79. Planilla en formato .xlsx como input del prototipo funcional. Elaboración propia.

2. **Vista inicial:** En esta vista se entregan las indicaciones para el correcto funcionamiento del prototipo. La plantilla se encuentra disponible para su descarga como también un campo en donde se puede subir para ser analizada por el modelo de optimización y entregar los resultados en la siguiente vista. Al mismo tiempo, existe un botón “Limpiar”, el cual deselecciona cualquier archivo que haya sido subido.





Aplicación para optimización de horas radiológicas

Instrucciones de Uso:

1. Descargar la plantilla haciendo click [aquí](#).
2. Seguir las instrucciones en la plantilla y rellenar los datos que se indican en esta.
3. Si lo desea puede cambiar los valores predeterminados de tiempo promedio de examen por especialidad.
4. Guardar plantilla.
5. Subir el archivo con los datos y presionar en el botón "Enviar".

Adjunte archivo:

Ningún archivo seleccionado.

Enviar
Limpiar

Desarrollado por Sebastián Donoso y Alejandra Alarcón.
Optimización por Macarena Osorio

Ilustración 80. Vista inicial prototipo funcional. Elaboración en conjunto con Sebastián Donoso y Alejandra Alarcón.

3. **Vista de resultados:** En esta vista se presentan los resultados en forma de tabla: Horas radiólogo por turno, ya sea por unidad o para el día del CI completo, incluyendo el error porcentual individual. Al mismo tiempo, en esta vista se verifica el botón de “Download”, el cual al momento de clickearlo, descarga un .pdf con el resumen de los resultados.



HOSPITAL CLÍNICO
UNIVERSIDAD DE CHILE



INGENIERIA INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD DE CHILE

Resultados de la optimización

M.E.S	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
AM	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PM	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Neurorradiología	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
AM	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PM	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Cuerpo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
AM	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PM	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Pediatria	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
AM	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PM	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tórax	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
AM	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PM	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Total por día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	14.299999999999999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Error relativo individual : 1.0%

Volver
Download

Ilustración 81. Vista de resultados prototipo funcional. Elaboración en conjunto con Sebastián Donoso y Alejandra Alarcón.

4. **Informe en formato .pdf:** Este informe se entregan los datos para facilitar la toma de decisiones tácticas de CI del HCUCH. En él se especifican:

- Parámetros y supuestos que se utilizaron en la optimización, tales como valores de tiempo de realización de informe radiológico según examen y especialidad, protocolos de tiempo máximo según estado de paciente, la planificación es semanal y Domingo post 21:00 no se trabaja.
- Tabla de horas radiólogo según turno AM o PM y especialidad.
- Tabla de horas radiólogo según turno AM o PM en el CI.



Resultados de optimización

El presente informe se realizó a partir de un modelo de optimización el cual toma como parámetros:

- 1) Los datos entregados por ud. en la planilla Excel.
- 2) Los valores de la Tabla 4 en donde se detallan los tiempos promedio seleccionados de examen por especialidad.
- 3) Protocolos de tiempo máximo de entrega de informes radiológicos según estado de paciente, es decir:
 - *Pacientes Urgentes: 2 horas.
 - *Pacientes Hospitalizados: 24 horas.
 - *Pacientes Ambulatorios: 48 horas.
- 4) La planificación es semanal, teniendo en cuenta que Domingo post 21:00 horas no se trabaja.

Tabla 1. Total de horas radiólogo por día AM

	Lunes AM	Martes AM	Miércoles AM	Jueves AM	Viernes AM	Sábado AM	Domingo AM
M.E.S	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tórax	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Neurorradiología	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cuerpo	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pediatría	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 2. Total de horas radiólogo por día PM

	Lunes PM	Martes PM	Miércoles PM	Jueves PM	Viernes PM	Sábado PM	Domingo PM
M.E.S	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tórax	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Neurorradiología	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cuerpo	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pediatría	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Ilustración 82. Informe de resultados en formato .pdf (Página 1). Elaboración en conjunto con Sebastián Donoso y Alejandra Alarcón.

Tabla 3. Total de horas radiólogo en CI

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
14.299999999999999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 4. Tiempos promedio de examen por especialidad

Unidad	Área	Tiempo
MES	RX	0.5
MES	RM	20.0
MES	TAC	20.0
MES	TC	20.0
MES	ECO	2.0
NEU	RM	20.0
NEU	TAC	15.0
NEU	TC	15.0
PED	RX	1.0
PED	RM	30.0
PED	TAC	15.0
PED	TC	15.0
PED	ECO	2.0
TRX	RX	0.5
TRX	RM	30.0
TRX	TAC	5.0
TRX	TC	5.0
TRX	ECO	2.0
CPO	RX	3.0
CPO	RM	20.0
CPO	TAC	15.0
CPO	TC	15.0
CPO	ECO	2.0

Ilustración 83. Informe de resultados en formato .pdf (Página 2). Elaboración en conjunto con Sebastián Donoso y Alejandra Alarcón.

CAPÍTULO 7: GESTIÓN DEL CAMBIO

7.1 Contexto de la empresa

El Hospital Clínico de la Universidad de Chile es un centro asistencial de alta complejidad con un carácter mixto, es decir, público y privado, el cual se autogestiona para llegar a ofrecer servicios de labor social centrados en la salud y compromisos tanto con la comunidad como con la docencia, aportando en la formación de los especialistas médicos.

Se debe tener presente que su principal ventaja competitiva se encuentra en la alta calidad del equipo médico y no médico formado en su mayoría en la misma institución, el cual proporciona los servicios con alto estándar en comparación a la industria de la salud actual, llegando a ser un referente nacional.

Las mayores debilidades del HCUCH se ven reflejadas en la delicada situación financiera que vive hace más de cinco años (Cluster Salud, 2016), la cual ha generado crisis tanto dentro de los funcionarios como en forma institucional teniendo como alternativa vender el hospital a organizaciones privadas para resolver la problemática.

Cabe destacar que el contexto anterior afecta a cada unidad que se encuentra dentro del HCUCH. Específicamente, si vemos las consecuencias en Imagenología, se ve la pérdida de eficiencia en ciertas tareas diarias y proyectos nuevos como también en el departamento de Innovación, más específicamente en los proyectos de Teleradiología.

7.2 Observación de la implementación a realizar

Al observar la cultura organizacional del HCUCH, se pueden verificar diversas distinciones (Olguín, E., 2005), las cuales se han conformado a lo largo de los años en el Centro de Imagenología, entre ellas se destacan:

- **Ética:**
 - Excelencia y calidad tanto en servicio entregado como en los profesionales que lo imparten.
 - Desarrollo de la docencia, investigación, creación y extensión con alta calidad, compromiso social y responsabilidad pública.

- Pluralismo, respeto a la diversidad, diálogo, tolerancia y libertad de conciencia, libertad de cátedra, pensamiento y expresión.
 - Respeto irrestricto y promoción de los derechos humanos en todas sus dimensiones.
 - Formación integral de las personas como miembros activos de una comunidad que conforma una institución pública con compromiso social, en la cual la participación en la vida institucional y democrática es un elemento fundamental.
- **Emocional:**
 - El ambiente de emocionalidad vivido en el hospital usualmente se centra en la atención a pacientes, destacando la rapidez con la que tienen que reaccionar los especialistas ante cualquier emergencia.
 - Ambiente tenso en los momentos en que el hospital se encuentra operando a su capacidad máxima.
 - Ambiente distendido y de ocio en las salas de diagnóstico con baja demanda.
 - Subordinación de parte de los especialistas con menos experiencia o menos años en el cargo.
 - Entusiasmo y nerviosismo por parte de los becados.
- **Costumbres:**
 - Se acostumbra a generar instancias de encuentro en reuniones cortas para comentar temas de relevancia para algunas áreas.
 - El tiempo para distenderse es escaso, llegando a concentrarse en los horarios de colación en donde las áreas se turnan para no dejar vacío el centro de Radiología.
 - Usualmente en las salas de diagnóstico, los radiólogos se toman el tiempo para consultarse entre sí opiniones sobre tratamientos, diagnósticos o para enseñar a los becados.
 - Otros especialistas a menudo van en busca de la opinión de los radiólogos por diferentes actividades o debido a exámenes de urgencia.
- **Habilidades:**
 - Las principales habilidades de los especialistas del HCUCH son la rápida capacidad de aprender nuevas tareas o actividades y la excelencia con la que las realizan luego de un entrenamiento previo.
 - Se destaca la calidad del trabajo y el capital humano que existe entre las áreas, como también la confianza que se genera entre ellos al momento de validarse mediante sus habilidades.

▪ **Interpretativo:**

- La narrativa que más se repite entre el cuerpo médico y no médico es: “Desde siempre hemos sido un gran Hospital, con alta innovación y tecnología de punta y con mirada horizontal entre algunos trabajadores.”
- Reconocen como aliados a sus mismos compañeros los cuales hacen posible que los servicios se puedan realizar.
- Organización unida y validada por su servicio y cuerpo médico/no médico de excelencia, el cual en su mayoría se ha formado en la misma Universidad lo cual genera confianza y respeto en sus pares.

7.3 Análisis de los principios de diseño

Para comenzar a analizar la Gestión del cambio en este proceso, se crea un modelo adecuado para la organización y proceso a tratar, utilizando como base el modelo Chess⁹¹, quedando como sigue:

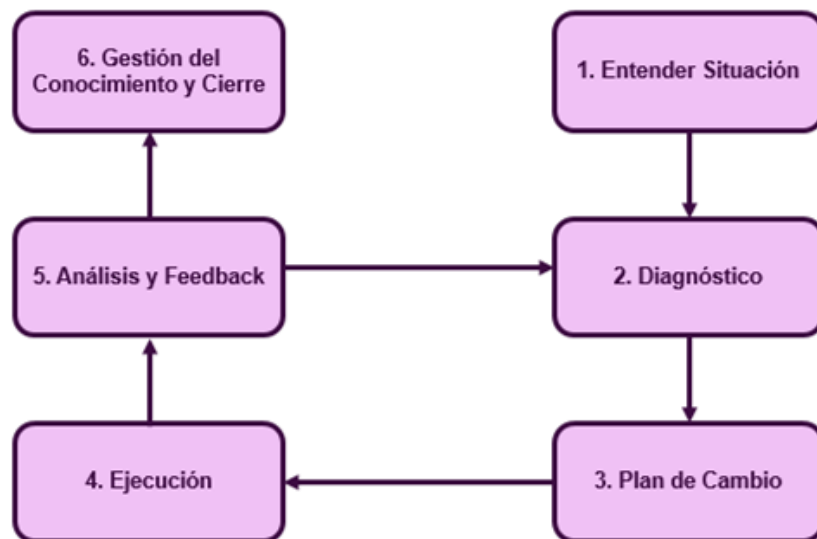


Ilustración 84: Modelo de Gestión de Cambio para Proyecto analizado. Elaboración propia.

Según el modelo anterior, se comienza analizando y comprendiendo la situación a fondo mediante las observaciones vistas en el punto 7.2, para luego pasar al Diagnóstico de la organización en sí mediante las siguientes características relevantes:

- Sentido y Estrategia.
- Liderazgo.

⁹¹Olgún, E. (2005). *Chess: Modelo integral de Liderazgo y Gestión del cambio*. Recuperado de https://www.academia.edu/38704938/CHESS_MODELO_INTEGRAL_DE_LIDERAZGO_Y_GESTI%C3%B3N_DEL_CAMBIO

- Poder.
- Cambio y conservación.
- Metaobservación, rediseño y seguimiento (Alerta y Consciencia del Proceso).
- Prácticas.
- Aprendizaje y habilidades.
- Gestión de comunicaciones.
- Gestión de emociones.
- Evaluación y cierre.

Luego de ello, se comienza a pensar en cuáles de las características anteriores se debe trabajar mediante un análisis de riesgo, tomando las más riesgosas para enfocar el trabajo y así crear un plan de cambio en donde se evaluará la forma en cómo mejorarlas.

Seguido de lo anterior, el plan de cambio se ejecuta por un tiempo determinado para luego analizar los resultados obtenidos y generar el feedback necesario. Cabe destacar que el proceso anterior debe ser un ciclo permanente, ya que la Gestión del Cambio no es un tema que se realice de forma rápida ni fácil, por ende, es un proceso continuo de mejora.

En el momento en que se estime que la iteración ya es suficiente, se llega al punto de Gestión del conocimiento y cierre en donde se finaliza el proceso entendiendo sus resultados, puntos a mejorar, ventajas y utilidad del proceso completo.

Es importante notar que durante todo el proceso es necesario que exista un Comité o encargados de llevar el proceso, los cuales estén alerta y se pueda realizar el plan de cambio a cabalidad y de forma consciente en cada paso del ciclo.

7.4 Caracterización del cambio y factores críticos de éxito

Utilizando el modelo anterior se llega al siguiente diagnóstico, en donde el color verde indica "*Riesgo bajo*", es decir, que no tendría una alta prioridad para observar en el proyecto de Gestión del cambio; el color amarillo indica "*Observar*", es decir, que posee una prioridad media y finalmente el color rojo indica "*Riesgo alto*", en otras palabras, una alta prioridad:

Tabla 22. Caracterización y diagnóstico del cambio. Elaboración propia.

Distinción	Preguntas	Resultado del Diagnóstico
Sentido y Estrategia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿Existe alineamiento entre la estrategia y el proyecto de gestión del cambio? ▪ ¿Las distintas áreas que participan del proyecto están alineadas? ▪ ¿Hace sentido dentro de la organización el cambio? 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Claridad en que la innovación es el objetivo. ▪ Cada área ejecuta la estrategia de manera independiente. ▪ No se evalúan las iniciativas de innovación en detalle ni su desarrollo.
Liderazgo y Gestión	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿Qué estilos de liderazgo hay? ▪ ¿Existen herramientas de gestión? 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Relación asimétrica entre tecnólogos y médicos. ▪ Hay gran cantidad de líderes debido a su experiencia en el cargo. ▪ No hay seguimiento periódico de iniciativas. ▪ No se utilizan herramientas de gestión. ▪ Asignación de cargos a personas que no tienen habilidades requeridas.
Cambio y Conservación	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿Cuáles procesos, costumbres o aspectos deben cambiarse dentro de la organización para lograr el proyecto? ▪ ¿Qué es imposible cambiar? 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resistencia al cambio por parte de los equipos. ▪ Jefes impulsan innovación, pero sus equipos no siempre están involucrados. ▪ Proyectos tecnológicos pasados no se concretan en su mayoría.
Meta observaciones y emociones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿Existen dinámicas de conversación interna, formales o informales? ▪ ¿Existe feedback entre personas, jefes, subordinados, entre pares, etc.? ▪ ¿Existen instancias de organización y planificación? ▪ ¿Existen herramientas de medición de satisfacción instaladas? ▪ ¿Existe valoración en la organización por los aspectos emocionales? ▪ ¿Qué hacen cuando ven a un equipo o un colaborador se encuentra emocionalmente impedido, existen protocolos? 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No hay instancias de feedback formales. ▪ No existen encuestas de satisfacción interna detalladas. ▪ Lo emocional es importante entre compañeros que sientan la horizontalidad. ▪ Permisos por situaciones personales no son cuestionadas y poseen buena acogida.
Comunicaciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿Existen encargados de las comunicaciones en el área? ▪ ¿Existe algún área de comunicación? ▪ ¿El área se encuentra 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No se centralizan las comunicaciones. ▪ Comunicación mediante secretarías y Web de Comunicaciones administrada por área T.I.

	distribuida o centralizada, qué comunica?	
Poder	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿Existe poder formal o cultural y profesionalmente se distinguen grupos de intereses? ▪ ¿Qué tipo de poder existe? 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Médicos con mayor experiencia poseen mayor poder de decisión. ▪ Médicos con autoridad (cargos directivos) toman las decisiones finales.
Gestión del Aprendizaje y Habilidades	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿Existe gestión del conocimiento organizacional? ▪ ¿Se deben crear nuevas habilidades dentro de la organización? ▪ ¿Se capacita dentro de la organización? 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No existe aprendizaje completo una vez terminado / fallado un proyecto. ▪ No hay levantamiento de las habilidades requeridas por los equipos. ▪ Existen buenos planes de capacitación para médicos. ▪ Médicos con mayor experiencia traspasan conocimiento. ▪ Para el cuerpo no médico, la capacitación se realiza una vez al comienzo por sus pares.

Debido al diagnóstico anterior, se verifica que los cambios a realizar se deben centrar en las distinciones de Cambio y Conservación, Comunicaciones y Poder, por ende, el cambio que se realizará se centrará en tratar de que los integrantes de la organización, es decir, el cuerpo médico y no médico se puedan reunir u organizar y dar tanto continuidad como cierre a los diversos proyectos que se estén desarrollando.

El equipo de cambio se organizará en dos grupos. El primero de ellos deberá estar compuesto por las autoridades del HCUCH, los cuales darán los lineamientos principales para el proyecto. Luego, el segundo grupo estará compuesto por un equipo de ingenieros, el cual incluye a la tesista y profesor guía, en donde se podrán analizar los diversos procesos y monitorear el plan de cambio.

El resultado general esperado es la mejora de las tres distinciones anteriormente mencionadas que estaban con prioridad alta. Por lo anterior, los aspectos organizacionales a considerar serán tanto la jerarquía entre los integrantes de la organización como también la división del horario laboral entre obligaciones docentes y clínicas, es decir, los resultados específicos serán una horizontalidad generalizada como también un equilibrio de labores estipuladas.

En particular, el público objetivo del cambio sería el cuerpo médico del Centro de Imagenología, es decir, Radiólogos y Tecnólogos Médicos, en este caso.

Los elementos para la evaluación del proceso de cambio se deberán ocupar en cada iteración del proceso. Los elementos son entrevistas con miembros aleatorios del

público objetivo del plan de cambio, preguntando sobre la narrativa y acciones distintivas del último tiempo; el otro elemento es la evaluación del plan como cierre del proceso en conjunto con feedback general y localizado a otros integrantes del Centro.

Finalmente, las estrategias a adoptar por cada etapa del proceso de cambio son las siguientes:

- 1. Entender la situación:** La estrategia fue hacer entrevistas con los diversos integrantes del centro pudiendo construir la visión personal, por área y de los integrantes como totalidad comprendiendo su historia y procesos.
- 2. Diagnóstico:** En este paso, se utilizaron los conocimientos adquiridos de Gestión del cambio, para poder analizar la situación luego de también preguntar a los integrantes del CI sobre cómo percibían la situación, basándose principalmente en la experiencia y narrativas comunes.
- 3. Plan de cambio:** La estrategia utilizada fue redefinir los pasos a seguir del modelo planteado por Olgúin, E. (2005) hasta llegar a una estructura que ayudara al cambio en el CI. Posterior a ello, se revisó el diagnóstico y se realizó un análisis de riesgo con tres niveles: Bajo, medio y alto, para verificar la urgencia de cada distinción y priorizar las de alto riesgo para ser tratadas posteriormente.
- 4. Ejecución:** Para este paso la estrategia se basó en acompañar a los integrantes del CI respondiendo consultas sobre el proceso realizado, mostrando las ventajas que traería a su mismo proceso y los resultados esperados a futuro.
- 5. Análisis y feedback:** En estos pasos, se analizaron los cambios con visitas periódicas al CI para luego entregar a los actores feedback de los cambios o la baja importancia que le daban a los mismos. Se recomienda que este análisis se siga realizando periódicamente.
- 6. Gestión del conocimiento y cierre:** Finalmente, se hizo un recuento del proceso en general, destacando los próximos pasos y las ventajas/desventajas de hacerlo de forma periódica junto con el cierre del proceso.

Los factores críticos de éxito se centran en los mismos integrantes del CI, debido a que sin la colaboración de ellos el cambio no se puede realizar y, por ende, el plan de gestión del cambio no tendría sentido.

El compromiso, atención y esfuerzo de los integrantes del CI es fundamental para el éxito del proyecto, pudiendo así notar frutos en el futuro.

Como medida de prevención se menciona la cercanía que se debe tener con los integrantes del CI, como también la muestra de los beneficios que esto traerá a futuro tanto para ellos como integrantes individuales, como para su área de trabajo.

7.5 Plan de gestión del cambio

Como se verificó en el punto anterior, las características a analizar según su riesgo son el Cambio y Conservación, Comunicaciones y Poder. Todos los ámbitos anteriores se relacionan con el cuerpo médico y no médico, es decir, con los integrantes del proyecto, es por lo anterior que se propone un Plan de Gestión del cambio orientado a estos puntos como se verifica a continuación:

- **Cambio y conservación:**
 - Los aspectos para mejorar son las prácticas de feedback, es decir, las prácticas de cierre de proyectos para verificar si fue de utilidad, en dónde se falló y acertó.
 - Otro punto importante para el cambio es la forma de comunicación entre integrantes de la organización, teniendo en cuenta la emocionalidad de los integrantes.
 - Los aspectos que deben mantenerse son los protocolos médicos, la calidad del servicio, la ayuda entre los integrantes de la organización, calidad y compromiso del cuerpo médico y no médico.

- **Comunicaciones:**
 - Asignar rol de encargado de comunicaciones para el proyecto, para así poder contar con las alertas y organización pertinente.
 - Definir actores relevantes para la ejecución del proyecto, teniendo así un equipo multidisciplinario con diversas miradas que puedan contribuir al objetivo.
 - Definir canales formales e informales de comunicación para que ningún integrante quede fuera del círculo de información.
 - Trabajar la narrativa adecuada con cada actor identificado para que identifique los beneficios que el proyecto traerá a su área de trabajo.

- **Poder:**
 - Identificar a los integrantes del cuerpo médico y no médico que posean mayor poder y el tipo de poder que poseen para que puedan contribuir de manera activa en el proyecto.

- Preparar reuniones de forma periódica con los actores anteriormente mencionados para involucrarlos en los avances del proyecto. Se debe trabajar en una narrativa que sea inclusiva y sirva para que el proyecto tenga relevancia dentro de la organización.

CAPÍTULO 8: EVALUACIÓN DEL PROYECTO

8.1 Plan Piloto

8.1.1 Definición del Plan Piloto y resultados obtenidos

El plan piloto consistió en comparar la data histórica con los resultados del modelo, en donde se pudieron apreciar diferencias significativas en las diversas unidades.

Para cada mes desde Enero a Diciembre se eligió el primer día del mes, en las cuales se compara el número recomendado de hora radiólogo con el número real que estaba en el CI del HCUCH, es decir, aproximadamente 3.300 registros de demanda fueron los analizados por tabla, entregando como máximo un error individual de 1,3% con los inputs del Anexo 1 en conjunto con los tiempos extraídos del Time Tracker explicados en el Capítulo 4.

La fila Delta corresponde a la diferencia entre la data histórica y los resultados del modelo. Las semanas en las que les faltan radiólogos para cubrir la demanda están en rojo, lo cual representa en un máximo 13% del universo de muestras, en cambio los delta en negro muestran la cantidad de hora radiólogo que hubo demás, lo cual también genera un problema para los gastos del CI.

Algunos resultados con data histórica reflejan lo siguiente:

Tabla 23. Comparación cantidad de horas radiólogo real y según modelo: 2018. Elaboración propia.

	2018											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Horas recomendadas	172	133	133	158	147	180	185	183	188	200	185	182
Horas reales	164	148	145	160	160	153	174	155	172	180	170	172
Delta	-8	15	12	2	13	-27	-11	-28	-16	-20	-15	-10

Tabla 24. Comparación cantidad de horas radiólogo real y según modelo: 2019. Elaboración propia.

	2019											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Horas recomendadas	200	175	134	218	183	164	222	196	165	193	199	201
Horas reales	170	149	149	181	158	181	181	174	181	160	171	181
Delta	-30	-26	15	-37	-25	17	-41	-22	16	-33	-28	-20

8.2 Definición de Beneficios Y Costos

En este proyecto se definen los siguientes beneficios:

- **Beneficio social:** Cantidad de horas radiólogo que quedan libres por año para que puedan ser ocupadas por otras actividades. Cabe destacar que la hora radiólogo está avaluada en \$40.000 según el Jefe de Unidad de Análisis y Gestión de información.
- **Costo social:** En este caso el costo se refiere a la mantención al inicio y final de año del modelo y los equipos. Esta mantención será realizada por un/a Ingeniero/a Civil Industrial y un/a Ingeniero/a Civil en Computación.
- **Inversión:** La inversión realizada se centra en la adquisición de la licencia de Gurobi y Microsoft Office 365, en conjunto con el sueldo de un/a Ingeniero/a Civil Industrial y un/a Ingeniero/a Civil en Computación por dos años, en los cuales se comienza a desarrollar el proyecto.

8.3 Flujo de Caja

Es importante destacar que la evaluación de este proyecto es social, por ende, se utilizarán los siguientes parámetros:

- Tasa de descuento social de 6% anual.
- Se utiliza la valoración de mano de obra experta de $g=0,98$.
- El horizonte del proyecto se estima a seis años, ya que por su carácter tecnológico se debe ir renovando de forma continua.

Tabla 25. Flujo de caja social para proyecto. Elaboración propia.

Año	0	1	2	3	4	5	6
Beneficio social	\$ -	\$ 846.720.000	\$ 470.400.000	\$ 282.240.000	\$ 188.160.000	\$ 94.080.000	\$ 47.040.000
Mantención de equipo	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
FCO	\$ -	\$ 705.600.000	\$ 329.280.000	\$ 141.120.000	\$ 47.040.000	\$ 47.040.000	\$ 94.080.000
Inversión	-\$ 160.036.600	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
FCC	-\$ 160.036.600	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Flujo Caja Social	-\$ 160.036.600	\$ 705.600.000	\$ 329.280.000	\$ 141.120.000	\$ 47.040.000	\$ 47.040.000	\$ 94.080.000

En particular, se verifica que el Beneficio social depende en específicamente de la cantidad de horas que se liberan para realizar otras tareas, por ejemplo, se toma como supuesto que en un inicio la cantidad de horas ahorradas serán mayores y luego de la utilización de este proyecto en un mayor porcentaje de las decisiones, van a ir en bajada, debido a que los integrantes del CI ya se pudieron acostumbrar al nuevo proceso y utilizan de forma más frecuente el sistema de apoyo.

Tabla 26. Cantidad de horas ahorradas si el proyecto se usa un 10% de las veces. Elaboración propia.

AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
90	50	30	20	10	5

Luego, los costos de mantención se calculan con los sueldos promedio del mercado⁹², siendo estos de \$1.500.000 para cada profesional de forma mensual. Cabe también destacar que, debido a la naturaleza social de esta evaluación de proyecto, el factor $g=0,98$ no debe ser olvidado, obteniendo entonces \$141.120.000 de forma anual.

La inversión contempla las licencias de Gurobi y Microsoft Office 365, los cuales se avalúan en \$18.873.600 y \$43.000, respectivamente. Sumado a lo anterior, se tienen los sueldos de un/a Ingeniero/a Civil Industrial y un/a Ingeniero/a Civil en Computación por dos años, en los cuales se comienza a desarrollar el proyecto. Los sueldos se calculan como el promedio del mercado, siendo estos de \$1.500.000 para cada profesional de forma mensual. Cabe también destacar que, debido a la naturaleza social de esta evaluación de proyecto, el factor $g=0,98$ no debe ser olvidado, obteniendo entonces \$160.036.600 de forma anual.

En cuanto a los indicadores sociales, en específico VAN social: \$852.955.252 y TIR social 3,87%, los cuales representan que el proyecto debería realizarse desde el punto de vista social, debido a que su VAN social es positivo, por ende, representaría un beneficio para este sector.

8.4 Análisis de Sensibilidad

Para el análisis de sensibilidad se decide tomar como variable de sensibilidad la cantidad de horas ahorradas gracias al proyecto, obteniendo lo siguiente:

Tabla 27. Cantidad de horas ahorradas para proyecto en escenario optimista. Elaboración propia.

AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
1200	800	500	300	80	80

Tabla 28. Cantidad de horas ahorradas para proyecto en escenario medio. Elaboración propia.

AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
22	30	23	17	9	5

Tabla 29. Cantidad de horas ahorradas para proyecto en escenario pesimista. Elaboración propia.

AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
60	5	4	2	1	1

⁹² Neuvoo (2019) *Remuneraciones*. Recuperado de <https://neuvoo.cl/remuneracion/>.

Tabla 30. Tabla de comparación entre tres escenarios diferentes. Elaboración propia.

	Escenario pesimista	Escenario medio	Escenario optimista
VAN social (\$)	-219.412.614	0	23.773.237.990
TIR social (%)	0,539	0,096	69,324

Tal como se esperaba, los diferentes escenarios van en aumento de VAN social y TIR social a medida que la cantidad de horas radiológicas ahorradas va en aumento, por lo cual se confirma que es la variable correcta.

Finalmente, se puede concluir que el impacto del proyecto y, por ende, su evaluación se mide en la cantidad de horas ahorradas, lo cual hace sentido según el objetivo del proyecto. En otras palabras, cada vez que se aumenta en aproximadamente \$8.000.000, lo cual representa el valor social otorgado a este tiempo, ya que se podrían realizar otras tareas de alta importancia.

CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES

- El Hospital Clínico de la Universidad de Chile (HCUCH) representa una entidad clínica y docente que se centra en la estrategia de entregar el mejor servicio mediante la diferenciación con sus competidores. Específicamente, el Centro de Imagenología del HCUCH posee principalmente el servicio de toma de exámenes y posterior entrega de informes radiológicos. La entrega de informes radiológicos posee un protocolo de tiempo máximo desde que termina el examen hasta la entrega de este según estado del paciente: 48 horas para pacientes Ambulatorios (A), 24 horas para Hospitalizados (H) y 2 horas para Ambulatorio Urgente (AU).
- Del total de exámenes analizados desde 2013 a 2018, correspondiente a 470.000 registros, se encuentra que 30% de ellos poseen informes radiológicos atrasados, siendo 53% AU, 39% A y 8% H, encontrando entonces el problema de cantidad de atrasos en informes radiológicos en el CI, lo cual es relevante debido a que este problema trae como consecuencia directa daño de reputación del HCUCH y la deficiente entrega de servicio al cliente, lo cual podría derivar en ansiedad, inconformidad, freno del proceso global del paciente y riesgo a su salud.
- Una de las principales causas del problema anterior es la estimación de demanda poco clara, lo que deriva en la deficiente distribución de horas de radiólogo, ya que esta sería realizada mediante un horario histórico pre-establecido, es decir, que no necesariamente se condeciría con la demanda del día en particular.
- Los exámenes a los que mayor tiempo llevan crearle un informe radiológico son RM y TAC, con un promedio de 32,1 y 24,2 minutos, respectivamente con una desviación estándar de 1,2 y 2,1 minutos. Lo anterior se podría comprender, debido a que para realizar el diagnóstico de estos exámenes, los radiólogos deben ver una cantidad de imágenes mayor que en los otros exámenes, sumado a ello la ficha clínica del paciente u otros inconvenientes.
- La metodología utilizada para solucionar este problema fue la Ingeniería de negocios, pudiendo así crear el macroproceso de Gestión de personal, el cual incluye análisis de demanda, optimización de recursos y generación de turnos, lo cual estará a cargo del Jefe de Unidad de Análisis y Gestión de la Información del CI. Específicamente para analizar la demanda y optimizar los recursos, se utiliza la metodología de un modelo de asignación utilizado en el sector de salud llamado Nurse Scheduling Problem (NSP), el cual se adapta a este caso y permite tener

una función multi-objetivo, permitiendo enfocarse tanto en la productividad como en la satisfacción de los médicos radiólogos.

- Las direcciones y variables de cambio relevantes para este proyecto son las siguientes:
 - **Estructura, empresa y mercado:** Variable Toma de Decisiones, ya que en un principio se encuentra descentralizada, pero con el proyecto se planea centralizar las decisiones, sobre todo las referidas al personal.
 - **Anticipación:** Variables Planificación de la capacidad y de recursos y Modelo de congestión, no existían con anterioridad, pero luego del proyecto existen gracias a la creación del modelo de asignación de horas radiólogo según demanda y la proyección de demanda realizada.
 - **Prácticas de trabajo:** Variable Lógica de apoyo a actividades tácticas no existía ningún sistema de apoyo, en cambio luego del proyecto se verifica un apoyo de sistema de información para estimar la cantidad de radiólogos necesarios para satisfacer la demanda, luego en la variable Procedimientos de comunicación e integración se verifican que estos procedimientos de comunicación se dan desde el Jefe de la unidad de análisis y gestión hacia los Jefes de unidad, los cuales a su vez tienen el deber de traspasar lo comunicado a los radiólogos de sus unidades. Finalmente, en la variable de Lógica, procedimientos de desempeño y control, existe apoyo de sistema de información para reducir atrasos de informes radiológicos.
 - **Integración de procesos conexos:** Variable Todos o la mayor parte de los procesos de un macroproceso, no se presentaba, en cambio, luego del proyecto se quiere aumentar la interacción entre los procesos de Análisis de demanda, análisis de cantidad de personal, creación de propuestas y análisis de factibilidad de cambios en la Gestión del personal, debido a la solución encontrada para disminuir los atrasos de informes radiológicos.
 - **Mantenimiento consolidada de estado:** Variable Datos propios, si bien se presenta antes del proyecto, luego de este se detalla que el sistema de apoyo a la gestión diseñado utiliza los datos de RIS, lo cual es destacable ya que así se pueden tomar decisiones tácticas con los datos reales del HCUCH.

- El macroproceso creado es apoyado por un sistema de información para facilitar la toma de decisiones tácticas del Jefe de Unidad de Análisis y Gestión de la Información. Este sistema de información recibe la demanda ingresada por el usuario en formato .xlsx, la cual es analizada mediante una macro y optimizada por el Software Gurobi para luego entregar resultados en pantalla y en un informe en formato .pdf, los cuales incluyen cantidad de horas radiólogo por especialidad y turno, parámetros y supuestos.
- Los resultados principales del piloto con data real son que más del 50% en cada unidad de los datos analizados poseen un déficit de horas radiólogo, lo cual contribuye a los atrasos y merma el servicio pulcro que se quiere entregar, por ende, se hace necesaria la implementación del proyecto en el CI, pudiendo así disminuir los atrasos y mejorar la distribución de horas radiólogo según la demanda.
- Mediante el análisis de Gestión del cambio, se impulsa a mejorar la comunicación entre diferentes unidades, como también el Feedback de proyectos. Al mismo tiempo, se destaca la buena calidad de protocolos médicos a seguir por los integrantes del CI, como también su buen ambiente laboral.
- El proyecto se evaluó de manera social, debido al impacto que generaría a los pacientes y la mejora en la entrega de su servicio. El proyecto se evaluó en un horizonte de 6 años, debido a su naturaleza tecnológica, obteniendo un VAN social de \$852.955.252 y una TIR social de 3,87%, lo cual implica que el proyecto traería beneficios de forma social y es recomendable realizarlo.
- La presente tesis es un aporte sobre todo al apoyo de la toma de decisiones tácticas, mediante la creación de un nuevo macroproceso y de un sistema de información que hará más llevadera la tarea que realiza antes el Jefe de Unidad de Análisis y Gestión de la Información, al mismo tiempo es un gran aporte la data recolectada en terreno y mediante time tracker, referida a la cantidad de tiempo que se demora un radiólogo con experiencia en realizar un informe radiológico de un examen y especialidad determinada.
- Las principales recomendaciones dado el trabajo realizado serían:
 - Crear prácticas de trabajo más rigurosas al momento de trabajar con la plataforma para realizar los informes para que así el tiempo de inicio/término se ajuste a la realidad.
 - Realizar una petición al proveedor RIS/PACS para la creación de un botón en la plataforma, el cual pueda activar/desactivar la marca temporal al momento de realizar informes radiológicos para que así el tiempo de inicio y término se ajuste a la realidad.

- Realizar un trabajo futuro para las unidades que poseen un protocolo de revisión diferente, por ejemplo, la Unidad de Mamas.

CAPÍTULO 10: BIBLIOGRAFÍA

1. AMPL (2020) *A AMPL STANDARD PRICE LIST*. Recuperado desde <https://ampl.com/products/standard-price-list/>
2. Astudillo, W. (2017). *Flujos de atención: Sistemas RIS-PACS*.
3. Augustine, L., Faer, M., Kavountzis, A. & Patel, R. (2009). *A Brief Study of the Nurse Scheduling Problem (NSP)*. Recuperado de http://www.math.cmu.edu/~af1p/Teaching/OR2/Projects/P23/ORProject_Final_Copy.pdf
4. Barros, O. (2013). *Business Engineering and Service Design with Applications for Health Care Institution*, Chile: Business Expert Press (Filial McGraw Hill).
5. Barros, O. (2009). *Ingeniería de Negocios*, Chile: Business Expert Press (Filial McGraw Hill).
6. Barros, O. (2010). *Ingeniería de Negocios, Diseño integrado de servicios sus procesos y aplicaciones TI*, Chile: Business Expert Press (Filial McGraw Hill).
7. Barros, O. (2012). *Ingeniería de Negocios: Diseño integrado de negocios, procesos y aplicaciones TI* (Quinta Edición), Chile: Universidad de Chile.
8. Barros, O. (2015). *Ingeniería de Negocios: Diseño integrado de servicios, sus procesos y apoyo TI* (Primera Edición), Chile: MBE.
9. Barros, O. & Julio, C. (2010). *Application of Enterprise and process architecture patterns in hospitals*, Chile: Business Expert Press (Filial McGraw Hill).
10. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: BCN (2006). *Reorganiza el Ministerio de Salud y crea los Servicios de Salud, el Fondo Nacional de Salud, el Instituto de salud pública de Chile y la Central de abastecimiento del sistema nacional de servicios de salud*. Recuperado de <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=6999>.
11. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: BCN (2019). *Establece normas sobre accidentes del trabajo y enfermedades profesionales*. Recuperado de <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=28650>.
12. Bizagi (2020). *Bizagi Modeler: Guía de usuario*. Recuperado de http://download.bizagi.com/docs/modeler/3300/es/Modeler_manual_del_usuario.pdf.
13. Brucker, P. (2007). *Scheduling Algorithms*. Recuperado de http://www.math.nsc.ru/LBRT/k5/Scheduling/BruckerSchedulingAlgorithms_Full.pdf
14. Burke, E.K., De Causmaecker, P. Vanden Berghe, V. & Van Landeghem H. (2004). *The state of the art of nurse rostering*. *Journal of Scheduling* 7;441-499.
15. Central de Abastecimiento del Sistema Nacional de Servicios de Salud: CENABAST (2017) *¿Quiénes somos?* Recuperado de <https://www.cenabast.cl/institucion/quienes->

somos/

16. Chaudhuri, S., & Walter, R. A. (1995). *High level synthesis: Introduction to scheduling problems*.
17. Cluster Salud (2016). *Crisis: Hospital Clínico de la Universidad de Chile sufrió gran incremento de deuda*. Recuperado de <https://clustersalud.americaeconomia.com/chile-hospital-clinico-u-chile-sufrio-gran-incremento-deuda>.
18. Damodaran, A. (2019). *Betas by sector*. Recuperado de http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html.
19. Departamento de Estadísticas e información de salud: DEIS, Ministerio de Salud, Gobierno de Chile. (2018) *Estadísticas de población*. Recuperado de <http://www.deis.cl/estadisticas-poblacion/>
20. Dowsland, K. & Aickelin, U. (2004) *An indirect Genetic Algorithm for a nurse-scheduling problem*.
21. Farías, M. (2017). *Satisfacción de Usuarios Clínicos y Administrativos con Aspectos de Calidad de Servicios de Telerradiología*. (Tesis publicada de Magíster). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
22. Focacci, F., Laborie, P. & Nuijten, W. (2000) *Solving Scheduling Problems with Setup Times and Alternative Resources*. Recuperado de <https://www.aaii.org/Papers/AIPS/2000/AIPS00-010.pdf>
23. Fondo Nacional de Salud: FONASA (2019). *Conoce Fonasa*. Recuperado de <https://www.fonasa.cl/sites/fonasa/conoce-fonasa>
24. Fundación Hospital Clínico Universidad de Chile (2018). *La Fundación Hospital Clínico Universidad de Chile*. Recuperado de <https://www.fundacionredclinica.cl/>
25. Fundación Sol (2009). *Caracterización del Sistema de Salud Chileno: Enfoque Laboral, Sindical e Institucional*. Recuperado de <http://www.fundacionsol.cl/wp-content/uploads/2010/09/Cuaderno-11-Salud-y-enfoque-laboral.pdf>
26. Garrido, N. (2015). *Mejora en los procesos de planificación, control y monitoreo del servicio de urgencia del Hospital Clínico de la Universidad de Chile*. (Tesis publicada de Magíster). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
27. Gattini, C. (2018). *El sistema de salud en Chile*. Recuperado del Observatorio Chileno de Salud Pública: OCHISAP http://www.ochisap.cl/images/ene20/Sistema_Salud_Chile_Gattini_2018.pdf
28. Hax, A. (2010). *The Delta Model: Reinventing your business strategy*, Estados Unidos: Springer.
29. Hendrik, V., Jeroen, B. & Barbosa-Póvoaa, A. (2018) *Integrated staff scheduling at a medical emergency service: An optimisation approach*

30. Hospital Clínico Universidad de Chile. (2018). *Historia del hospital*. Recuperado de <https://www.redclinica.cl/hospital-clinico/historia-hospital.aspx>
31. Hospital Clínico de la Universidad de Chile (HCUCH) (2019). *Institución de salud N°1 en el país en ranking SCImago*. Recuperado de <https://www.redclinica.cl/especiales-de-salud/principal-institucion-en-salud-de-chile.aspx>.
32. Hospital Clínico de la Universidad de Chile (HCUCH) (2019). *Líderes en Imagenología*. Recuperado de <http://teleradiologia.redclinica.cl/>
33. Hospital Clínico Universidad de Chile. (2018). *Misión*. Recuperado de <https://www.redclinica.cl/hospital-clinico/mision.aspx>
34. Hospital Clínico Universidad de Chile (2018) *Base de datos RIS del Centro de Imagenología desde 2013 al 2018*.
35. International Organization for Standardization: ISO. (2016). *ISO 27799:2016*. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/62777.html>
36. Isapres de Chile (2019) *Las ISAPRES*. Recuperado <https://www.isapre.cl/las-isapres>.
37. Jan, A., Yamamoto, M & Ohuchi, A. (2002) *Evolutionary algorithms for nurse scheduling problem*.
38. Kawanaka, H., Yamamoto, K., Yoshikawa, T., Shinogi, T. & Tsuruoka, S. (2001) *Genetic algorithm with the constraints for nurse scheduling problem*.
39. Maslow, A. (1984). *A Theory of Human Motivation*. Estados Unidos: Martino Fine Books.
40. Michelon, P., Ferland, J. & Berrada, I. (1996) *A Multi-objective Approach to Nurse Scheduling with both Hard and Soft Constraints*.
41. Microsoft 365 (2020) *Encuentra la solución adecuada para ti*. <https://www.microsoft.com/es-cl/microsoft-365/buy/compare-all-microsoft-365-products>
42. Ministerio de salud, Gobierno de Chile. (2017). *Cenabast*. Recuperado de <https://www.minsal.cl/central-de-abastecimiento/>
43. Ministerio de salud, Gobierno de Chile. (2017). *Funciones y objetivos*. Recuperado de <https://www.minsal.cl/funciones-objetivos/>
44. Ministerio de Salud, Gobierno de Chile (2018). *Plan de especialistas médicos 2014-2018: Juntos por la salud pública*. Recuperado de <https://www.minsal.cl/sites/default/files/files/Plan%20de%20especialistas.pdf>.
45. Mohsen, B., Ali, G. & Azra, I. (2016). *An application of stochastic programming method for nurse scheduling problem in real word hospital*.
46. Nai-Chun Ping-Shun Chen, Ying-Jie Lin & Nai Peng (2016). *A two-stage method to determine the allocation and scheduling of medical staff in uncertain environments*.

47. Neuvo (2019) *Remuneraciones*. Recuperado de <https://neuvo.cl/remuneracion/>.
48. Observatorio Chileno de Salud Pública: OCHISAP (2019). *¿Qué es FONASA y cuáles son las categorías de beneficiarios?* Recuperado de <http://ochisap.cl/index.php/preguntas-frecuentes?start=6>
49. Observatorio Chileno de Salud Pública: OCHISAP (2019). *Los Servicios de Salud del S.N.S.S.* Recuperado de <http://ochisap.cl/index.php/los-servicios-de-salud-del-s-n-s-s>
50. Olguín, E. (2005). *Chess: Modelo integral de Liderazgo y Gestión del cambio*. Recuperado de https://www.academia.edu/38704938/CHESS_MODELO_INTEGRAL_DE_LIDERAZGO_Y_GESTI%C3%B3N_DEL_CAMBIO
51. Ortiz, N. & Ruiz, E. (2015) *Lean healthcare: Una revisión bibliográfica y futuras líneas de investigación*.
52. Osterwalder, A. & Pigneur, Y. (2010). *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*, Canadá: John Wiley & Sons, Ltd.
53. Osorio, M. (2019). *Apunte IN3701: Modelamiento y Optimización*. Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile.
54. Parr, D. & Thomson, J. (2007) *Solving the multi-objective nurse scheduling problem with a weighted cost function*.
55. Radiological Society of North America: RSNA (2019). *Glosario de términos*. Recuperado de <https://www.radiologyinfo.org/sp/glossary/browse-glossary.cfm?sTerm=R>
56. Rath, G., Pierskalla, W. & Miller, H. (1976) *Nurse Scheduling Using Mathematical Programming*
57. Ravindran, A. & Arthur, J. (2007) *A Multiple Objective Nurse Scheduling Model*
58. Schlenker, H. & Abdennadher, S. (1999) *Nurse Scheduling using Constraint Logic Programming*.
59. SCIMAGO Institutions Rankings (2019). *Hospital Clínico Universidad de Chile José Joaquín Aguirre, Chile*. Recuperado de <https://www.scimagoir.com/institution.php?idp=57243>.
60. Sociedad chilena de radiología: SOCHRADI. (2019). *Historia de la radiología en Chile*. Recuperado de <https://www.sochradi.cl/quienes-somos/historia-la-radiologia-chile/>
61. Springer Nature (2019). *Nature Index 2019 tables: Institutions*. Recuperado de <http://www.shanghairanking.com/World-University-Rankings/University-of-Chile.html>
62. Stiller, E. & LeBlanc, C. (2010). *Object-Oriented Software Engineering: A Project Based Approach*, Estados Unidos: Scott-Jones, Inc.

63. Superintendencia de Salud (2018). *¿Cómo funciona el Sistema de Salud en Chile?* Recuperado de <http://www.supersalud.gob.cl/difusion/665/w3-article-17328.html>
64. Superintendencia de Salud (2019). *Fiscalización*. Recuperado de <http://www.supersalud.gob.cl/portal/w3-propertyname-582.html>
65. Superintendencia de Salud (2019). *Modalidad de Atención Institucional o M.A.I.* Recuperado de <http://www.supersalud.gob.cl/difusion/665/w3-propertyvalue-2447.html#acordeonLegislacion>
66. Superintendencia de Salud (2019). *Modalidad Libre Elección o M.L.E.* Recuperado de <http://www.supersalud.gob.cl/difusion/665/w3-propertyvalue-2383.html#acordeonLegislacion>.
67. Superintendencia de Salud (2019). *Registro de Prestadores Acreditados - Por N° de registro*. Recuperado de <http://www.supersalud.gob.cl/acreditacion/673/w3-propertyvalue-4710.html>
68. Superintendencia de Seguridad Social (2019). *¿Qué hacen las cajas de compensación?* Recuperado de <https://www.suseso.cl/606/w3-propertyvalue-34003.html#normativa>.
69. Superintendencia de Seguridad Social (2019). *¿Qué son las empresas con administración delegada Ley N°16.744?* Recuperado de <https://www.suseso.cl/606/w3-article-19897.html>.
70. Superintendencia de Seguridad Social (2019). *¿Qué son las mutualidades de empleadores Ley N°16.744?* Recuperado de <https://www.suseso.cl/606/w3-article-19895.html>.
71. Thompson, J. & Dowsland, K. (2000) *Solving a nurse scheduling problem with knapsacks, networks and tabu search*.
72. Tontarski, C. (2015) *Modeling and Analysis of OR Nurse Scheduling Using Mathematical Programming and Simulation*
73. Tsaia, C. & Lib, S. (2009) *A two-stage modeling with genetic algorithms for the nurse scheduling problem*.
74. United States National Library of Medicine (2019). *Imagenología y radiología*. Recuperado de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/007451.htm>
75. Universidad de Chile (2018). *Organigramas Universidad de Chile*. Recuperado de <https://www.uchile.cl/portal/presentacion/informacion-publica/78614/organigramas-universidad-de-chile>.
76. Urquizar, V. (2020) *Discriminación de género en el sistema de Isapre en Chile*. (Tesis publicada de Magister). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
77. Vovor, T., Semet, F. & Jaumard, B. (1998) *A generalized linear programming model for nurse scheduling*.
78. White, P. & Aickelin, U. (2004) *Building Better Nurse Scheduling Algorithms*.

79. White, S. & Miers, D. (2009). *BPMN: Guía de referencia y modelado*, Estados Unidos: Future Strategies Inc.
80. Wong, T.C. & Xu, M. (2014) *A two-stage heuristic approach for nurse scheduling problem: A case study in an emergency department*.

CAPÍTULO 11: ANEXOS

Tabla 31. Anexo 1: Tabla de indexación modelo de optimización. Elaboración propia.

Día	ti	tf	Índice
lunes	0:00	0:30	0
lunes	0:31	1:00	1
lunes	1:01	1:30	2
lunes	1:31	2:00	3
lunes	2:01	2:30	4
lunes	2:31	3:00	5
lunes	3:01	3:30	6
lunes	3:31	4:00	7
lunes	4:01	4:30	8
lunes	4:31	5:00	9
lunes	5:01	5:30	10
lunes	5:31	6:00	11
lunes	6:01	6:30	12
lunes	6:31	7:00	13
lunes	7:01	7:30	14
lunes	7:31	8:00	15
lunes	8:01	8:30	16
lunes	8:31	9:00	17
lunes	9:01	9:30	18
lunes	9:31	10:00	19
lunes	10:01	10:30	20
lunes	10:31	11:00	21
lunes	11:01	11:30	22
lunes	11:31	12:00	23
lunes	12:01	12:30	24
lunes	12:31	13:00	25
lunes	13:01	13:30	26
lunes	13:31	14:00	27
lunes	14:01	14:30	28
lunes	14:31	15:00	29
lunes	15:01	15:30	30
lunes	15:31	16:00	31
lunes	16:01	16:30	32
lunes	16:31	17:00	33
lunes	17:01	17:30	34
lunes	17:31	18:00	35
lunes	18:01	18:30	36

lunes	18:31	19:00	37
lunes	19:01	19:30	38
lunes	19:31	20:00	39
lunes	20:01	20:30	40
lunes	20:31	21:00	41
lunes	21:01	21:30	42
lunes	21:31	22:00	43
lunes	22:01	22:30	44
lunes	22:31	23:00	45
lunes	23:01	23:30	46
lunes	23:31	23:59	47
martes	0:00	0:30	48
martes	0:31	1:00	49
martes	1:01	1:30	50
martes	1:31	2:00	51
martes	2:01	2:30	52
martes	2:31	3:00	53
martes	3:01	3:30	54
martes	3:31	4:00	55
martes	4:01	4:30	56
martes	4:31	5:00	57
martes	5:01	5:30	58
martes	5:31	6:00	59
martes	6:01	6:30	60
martes	6:31	7:00	61
martes	7:01	7:30	62
martes	7:31	8:00	63
martes	8:01	8:30	64
martes	8:31	9:00	65
martes	9:01	9:30	66
martes	9:31	10:00	67
martes	10:01	10:30	68
martes	10:31	11:00	69
martes	11:01	11:30	70
martes	11:31	12:00	71
martes	12:01	12:30	72
martes	12:31	13:00	73
martes	13:01	13:30	74
martes	13:31	14:00	75
martes	14:01	14:30	76
martes	14:31	15:00	77
martes	15:01	15:30	78

martes	15:31	16:00	79
martes	16:01	16:30	80
martes	16:31	17:00	81
martes	17:01	17:30	82
martes	17:31	18:00	83
martes	18:01	18:30	84
martes	18:31	19:00	85
martes	19:01	19:30	86
martes	19:31	20:00	87
martes	20:01	20:30	88
martes	20:31	21:00	89
martes	21:01	21:30	90
martes	21:31	22:00	91
martes	22:01	22:30	92
martes	22:31	23:00	93
martes	23:01	23:30	94
martes	23:31	23:59	95
miércoles	0:00	0:30	96
miércoles	0:31	1:00	97
miércoles	1:01	1:30	98
miércoles	1:31	2:00	99
miércoles	2:01	2:30	100
miércoles	2:31	3:00	101
miércoles	3:01	3:30	102
miércoles	3:31	4:00	103
miércoles	4:01	4:30	104
miércoles	4:31	5:00	105
miércoles	5:01	5:30	106
miércoles	5:31	6:00	107
miércoles	6:01	6:30	108
miércoles	6:31	7:00	109
miércoles	7:01	7:30	110
miércoles	7:31	8:00	111
miércoles	8:01	8:30	112
miércoles	8:31	9:00	113
miércoles	9:01	9:30	114
miércoles	9:31	10:00	115
miércoles	10:01	10:30	116
miércoles	10:31	11:00	117
miércoles	11:01	11:30	118
miércoles	11:31	12:00	119
miércoles	12:01	12:30	120

miércoles	12:31	13:00	121
miércoles	13:01	13:30	122
miércoles	13:31	14:00	123
miércoles	14:01	14:30	124
miércoles	14:31	15:00	125
miércoles	15:01	15:30	126
miércoles	15:31	16:00	127
miércoles	16:01	16:30	128
miércoles	16:31	17:00	129
miércoles	17:01	17:30	130
miércoles	17:31	18:00	131
miércoles	18:01	18:30	132
miércoles	18:31	19:00	133
miércoles	19:01	19:30	134
miércoles	19:31	20:00	135
miércoles	20:01	20:30	136
miércoles	20:31	21:00	137
miércoles	21:01	21:30	138
miércoles	21:31	22:00	139
miércoles	22:01	22:30	140
miércoles	22:31	23:00	141
miércoles	23:01	23:30	142
miércoles	23:31	23:59	143
jueves	0:00	0:30	144
jueves	0:31	1:00	145
jueves	1:01	1:30	146
jueves	1:31	2:00	147
jueves	2:01	2:30	148
jueves	2:31	3:00	149
jueves	3:01	3:30	150
jueves	3:31	4:00	151
jueves	4:01	4:30	152
jueves	4:31	5:00	153
jueves	5:01	5:30	154
jueves	5:31	6:00	155
jueves	6:01	6:30	156
jueves	6:31	7:00	157
jueves	7:01	7:30	158
jueves	7:31	8:00	159
jueves	8:01	8:30	160
jueves	8:31	9:00	161
jueves	9:01	9:30	162

jueves	9:31	10:00	163
jueves	10:01	10:30	164
jueves	10:31	11:00	165
jueves	11:01	11:30	166
jueves	11:31	12:00	167
jueves	12:01	12:30	168
jueves	12:31	13:00	169
jueves	13:01	13:30	170
jueves	13:31	14:00	171
jueves	14:01	14:30	172
jueves	14:31	15:00	173
jueves	15:01	15:30	174
jueves	15:31	16:00	175
jueves	16:01	16:30	176
jueves	16:31	17:00	177
jueves	17:01	17:30	178
jueves	17:31	18:00	179
jueves	18:01	18:30	180
jueves	18:31	19:00	181
jueves	19:01	19:30	182
jueves	19:31	20:00	183
jueves	20:01	20:30	184
jueves	20:31	21:00	185
jueves	21:01	21:30	186
jueves	21:31	22:00	187
jueves	22:01	22:30	188
jueves	22:31	23:00	189
jueves	23:01	23:30	190
jueves	23:31	23:59	191
viernes	0:00	0:30	192
viernes	0:31	1:00	193
viernes	1:01	1:30	194
viernes	1:31	2:00	195
viernes	2:01	2:30	196
viernes	2:31	3:00	197
viernes	3:01	3:30	198
viernes	3:31	4:00	199
viernes	4:01	4:30	200
viernes	4:31	5:00	201
viernes	5:01	5:30	202
viernes	5:31	6:00	203
viernes	6:01	6:30	204

viernes	6:31	7:00	205
viernes	7:01	7:30	206
viernes	7:31	8:00	207
viernes	8:01	8:30	208
viernes	8:31	9:00	209
viernes	9:01	9:30	210
viernes	9:31	10:00	211
viernes	10:01	10:30	212
viernes	10:31	11:00	213
viernes	11:01	11:30	214
viernes	11:31	12:00	215
viernes	12:01	12:30	216
viernes	12:31	13:00	217
viernes	13:01	13:30	218
viernes	13:31	14:00	219
viernes	14:01	14:30	220
viernes	14:31	15:00	221
viernes	15:01	15:30	222
viernes	15:31	16:00	223
viernes	16:01	16:30	224
viernes	16:31	17:00	225
viernes	17:01	17:30	226
viernes	17:31	18:00	227
viernes	18:01	18:30	228
viernes	18:31	19:00	229
viernes	19:01	19:30	230
viernes	19:31	20:00	231
viernes	20:01	20:30	232
viernes	20:31	21:00	233
viernes	21:01	21:30	234
viernes	21:31	22:00	235
viernes	22:01	22:30	236
viernes	22:31	23:00	237
viernes	23:01	23:30	238
viernes	23:31	23:59	239
sábado	0:00	0:30	240
sábado	0:31	1:00	241
sábado	1:01	1:30	242
sábado	1:31	2:00	243
sábado	2:01	2:30	244
sábado	2:31	3:00	245
sábado	3:01	3:30	246

sábado	3:31	4:00	247
sábado	4:01	4:30	248
sábado	4:31	5:00	249
sábado	5:01	5:30	250
sábado	5:31	6:00	251
sábado	6:01	6:30	252
sábado	6:31	7:00	253
sábado	7:01	7:30	254
sábado	7:31	8:00	255
sábado	8:01	8:30	256
sábado	8:31	9:00	257
sábado	9:01	9:30	258
sábado	9:31	10:00	259
sábado	10:01	10:30	260
sábado	10:31	11:00	261
sábado	11:01	11:30	262
sábado	11:31	12:00	263
sábado	12:01	12:30	264
sábado	12:31	13:00	265
sábado	13:01	13:30	266
sábado	13:31	14:00	267
sábado	14:01	14:30	268
sábado	14:31	15:00	269
sábado	15:01	15:30	270
sábado	15:31	16:00	271
sábado	16:01	16:30	272
sábado	16:31	17:00	273
sábado	17:01	17:30	274
sábado	17:31	18:00	275
sábado	18:01	18:30	276
sábado	18:31	19:00	277
sábado	19:01	19:30	278
sábado	19:31	20:00	279
sábado	20:01	20:30	280
sábado	20:31	21:00	281
sábado	21:01	21:30	282
sábado	21:31	22:00	283
sábado	22:01	22:30	284
sábado	22:31	23:00	285
sábado	23:01	23:30	286
sábado	23:31	23:59	287
domingo	0:00	0:30	288

domingo	0:31	1:00	289
domingo	1:01	1:30	290
domingo	1:31	2:00	291
domingo	2:01	2:30	292
domingo	2:31	3:00	293
domingo	3:01	3:30	294
domingo	3:31	4:00	295
domingo	4:01	4:30	296
domingo	4:31	5:00	297
domingo	5:01	5:30	298
domingo	5:31	6:00	299
domingo	6:01	6:30	300
domingo	6:31	7:00	301
domingo	7:01	7:30	302
domingo	7:31	8:00	303
domingo	8:01	8:30	304
domingo	8:31	9:00	305
domingo	9:01	9:30	306
domingo	9:31	10:00	307
domingo	10:01	10:30	308
domingo	10:31	11:00	309
domingo	11:01	11:30	310
domingo	11:31	12:00	311
domingo	12:01	12:30	312
domingo	12:31	13:00	313
domingo	13:01	13:30	314
domingo	13:31	14:00	315
domingo	14:01	14:30	316
domingo	14:31	15:00	317
domingo	15:01	15:30	318
domingo	15:31	16:00	319
domingo	16:01	16:30	320
domingo	16:31	17:00	321
domingo	17:01	17:30	322
domingo	17:31	18:00	323
domingo	18:01	18:30	324
domingo	18:31	19:00	325
domingo	19:01	19:30	326
domingo	19:31	20:00	327
domingo	20:01	20:30	328
domingo	20:31	21:00	329
domingo	21:01	21:30	330

domingo	21:31	22:00	331
domingo	22:01	22:30	332
domingo	22:31	23:00	333
domingo	23:01	23:30	334
domingo	23:31	23:59	335

Encuesta de Usabilidad de Aplicación web

La presente encuesta tiene como objetivo evaluar la usabilidad de una aplicación para el apoyo en la toma de decisiones. Marque con una "X" el nivel de acuerdo/desacuerdo que tiene ud. Con respecto a cada ítem. Marque sólo una opción por ítem.

	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
	1	2	3	4	5
El software es útil					
El software me parece atractivo					
El software es fácil de usar					
El lenguaje utilizado por el software es el adecuado					
El software permite ver datos relevantes del paciente					
El software genera sugerencias que facilitan la gestión de horas radiólogo					
El software genera porcentaje de error aproximado					
El software es un buen apoyo para la toma de decisiones del usuario					
El software se integra de forma adecuada a mi forma de trabajo					

Comentarios/sugerencias:

Ilustración 85. Anexo 2: Encuesta de usabilidad de Aplicación Web. Elaborado en base a encuesta del profesor Ángel Jiménez.