

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

***Propuesta de un Sistema Holónico
para la Gestión de Alarmas Médicas.***

Por:

Cristian Orlando Coloma Padilla

Profesor Guía:

Dr. Carlos Herrera López.

Concepción, Abril de 2014

Tesis presentada a la

**DIRECCIÓN DE POSTGRADO
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**



Para optar al grado de

MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Propuesta de un Sistema Holónico para la Gestión de Alarmas Médicas



Cristian Orlando Coloma Padilla

Tesis para optar al Grado de

MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Abril 2014

Resumen

PROPUESTA DE UN SISTEMA HOLÓNICO PARA LA GESTIÓN DE ALARMAS MÉDICAS

Cristian Orlando Coloma Padilla
Abril de 2014

PROFESOR GUIA: Dr. Carlos Herrera López
PROGRAMA: Magíster en Ingeniería Industrial

Esta investigación aborda la problemática de la optimización de la atención móvil de urgencia, mediante la proposición de un sistema holónico para la gestión de alarmas Médicas. Esta problemática cobra cada vez más relevancia, debido principalmente al envejecimiento de la población y sus problemas asociados.

Los Sistemas Holónicos son sistemas originados a partir de los sistemas Sistemas Inteligentes de Producción, promueven la descentralización de las decisiones. Estos sistemas se diseñan, modelando computacionalmente agentes autónomos y colaborativos, que representen componentes físicos, y que posean distintos grados de inteligencia para la distribución de la toma de decisión. Así, el sistema propuesto se alimenta por alarmas automáticas provenientes de dispositivos que captan señales fisiológicas de los pacientes. Estas alarmas se gestionan a través de la interacción entre los distintos holons, permitiendo realizar una gestión eficiente.

Para validar el sistema propuesto se diseñó e implementó una simulación a partir de datos obtenidos del servicio de atención móvil de urgencia (SAMU) del hospital Guillermo Grant Benavente. Estos datos sirvieron como referencia para formular dos escenarios de gestión de ambulancias. El primer escenario representa la operación convencional de los servicios de gestión de ambulancias, y el segundo representa el funcionamiento del sistema propuesto. Para cada escenario se midieron indicadores de eficiencia como tiempos de procesos, tiempos de respuesta y tasas de utilización. La evidencia computacional mostró que el sistema propuesto, permitió reducir, en promedio, un 14% el tiempo total del servicio y disminuir la carga laboral. Esto se logró principalmente al automatizar las labores de recepción, consolidación y validación de llamadas de emergencia.

Sistemas Inteligentes de Manufactura, Gestión de Alarmas, Logística Prehospitalaria.

Abstract

PROPOSAL OF A HOLONIC SYSTEM FOR THE MANAGEMENT OF MEDICAL ALARMS

Cristian Orlando Coloma Padilla
April, 2014

THESIS SUPERVISOR: Dr. Carlos Herrera López
PROGRAM: Master in Industrial Engineering

This research addresses the problem of optimizing the emergency mobile attention by proposing a Holonic System for the Management of Medical Alarms. This issue is becoming increasingly important, mainly due to population aging and its associated problems.

The Holonic Systems, originated from the Intelligent Manufacturing Systems, promote the decentralization of decisions. These systems are designed through computational modeling and collaborative autonomous agents which represent physical components, having different degrees of intelligence for the distribution of the decision-making process. Thus, the proposed system is fed by medical alert devices that capture physiological signals from patients. These alerts are managed through the interaction between different holons, allowing an efficient management.

To validate the proposed system a simulation was design and implemented. Data was obtained from the mobile care service (SAMU) Guillermo Grant Benavente Hospital. These data was used as a reference to develop two ambulances management scenarios. The first scenario represents the conventional operation of the ambulance service management, and the second represents the operation of the proposed system. For each scenario efficiency indicators as process times, response times and utilization rates were measured. Computational evidence showed that the proposed system reduce, on average, 14% of the total service time and also reduce workload. This is mainly achieved by the automation of tasks like reception, consolidation and validation of emergency calls.

Intelligent Manufacturing Systems, Alarm Management, Prehospital Logistics.



Dedicatoria

*A mis padres y mi novia,
por su ayuda, comprensión y soporte incondicional.*

Agradecimientos

A Dios, por guiar mi camino a través de todas las experiencias vividas, en donde me entregó la fortaleza necesaria para superar los momentos de debilidad.

A mis padres, que con sus consejos y enseñanzas buscan hacer de mí un hombre mejor, sepan que agradezco su apoyo incondicional, confianza y paciencia infinita, y que debido a su esfuerzo y amor, por mí y mis hermanos, son y serán siempre mi mejor ejemplo a seguir.

A mis hermanos, quienes con sus palabras apoyaron mi crecimiento general, sepan que la confianza con la cual promueven la tan necesaria seguridad en mí mismo, es mutua.

A Leslie, por estar presente con su amor y paciencia en los buenos y malos momentos, siendo además de mi novia, mi amiga y compañera. Gracias por ser siempre lo que necesitaba.

A mi profesor patrocinante Carlos Herrera, por el conocimiento transmitido en el proceso de mi formación profesional, y por su ayuda al guiar el desarrollo de este proyecto hasta su etapa de culminación.

Finalmente, agradezco a todos mis familiares, amigos y compañeros, por el apoyo entregado durante todo este proceso de formación, el que ha permitido superar cada barrera; y por compartir conmigo experiencias y vivencias que nunca olvidaré.

Índice

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL	10
1.2. HIPÓTESIS	15
1.3. OBJETIVOS	15
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	15
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	15
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES	16
2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1.1 <i>Sistemas Holónicos vs Sistema Multi-Agentes</i>	25
2.2. MONITORIZACIÓN DE SEÑALES BIOMÉDICAS	27
2.2.1 <i>Señales Bioacústicas</i>	29
2.2.2 <i>Señales Bioeléctricas</i>	30
2.2.3 <i>Señales de Bioimpedancia</i>	32
2.2.4 <i>Señales Biomagnéticas</i>	32
2.2.5 <i>Señales Biomecánicas</i>	33
2.2.6 <i>Señales Bioquímicas</i>	34
2.2.7 <i>Señales Bioópticas</i>	35
CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
3.1. SISTEMAS PREHOSPITALARIOS	37
3.2. SISTEMA TRADICIONAL DE GESTIÓN DE ALARMAS MÉDICAS	38
3.2.1 <i>Caso de Estudio: Centro Regulador Hospital Clínico Regional Dr. Guillermo Grant Benavente</i>	42
3.2.2 <i>Levantamiento de información y análisis de los datos</i>	46
3.2.3 <i>Simulación Caso de Estudio</i>	55
3.3. GESTIÓN DE ALARMAS MÉDICAS BASADO EN SISTEMA HOLÓNICO	63
3.3.1 <i>Simulación Proceso Tradicional vs Sistema Propuesto</i>	81
CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....	84
4.1. INTRODUCCIÓN	84
4.2. PROGRAMACIÓN EN SPADE	84
4.3. VALIDACIÓN Y SIMULACIÓN	88
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....	93
5.1. CONCLUSIONES	93
5.2. PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN	94
BIBLIOGRAFÍA	95
ANEXO A: CLAVES DEL SAMU COSTA CONCEPCIÓN.....	99
ANEXO B: DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD.....	101

Lista de Tablas

Tabla 2.1 Tipos de Sensores	28
Tabla 3.1 Caracterización Ambulancias SAMU del HGGB.	42
Tabla 3.2 Distribución de Tipos de Llamadas al SAMU zona Costa (1)	51
Tabla 3.3 Distribución de Tipos de Llamadas al SAMU zona Costa (2)	52
Tabla 3.4 Validación Tiempo entre Llamadas SAMU zona Costa	53
Tabla 3.5 Intervalos de Confianza para el Promedio (5% de Significancia).....	54
Tabla 3.6 Validación Tiempo de Procesos de SAMU zona Costa	54
Tabla 3.7 Intervalos de Confianza para Procesos SAMU zona Costa	55
Tabla 3.8 Valores para determinar Número de Réplicas.....	56
Tabla 3.9 Distribución de Probabilidades de los procesos de SAMU del HGGB.	57
Tabla 3.10 Distribución de Probabilidades de los procesos de SAMU del HGGB.....	57
Tabla 3.11 Distribución de Probabilidades del SAMU Costa.....	59
Tabla 4.1 Validación Simulación Sistema Tradicional de Gestión de Alarmas Médicas. ...	88
Tabla 4.2 Diferencia entre Tiempo Total de Procesos	89
Tabla 4.3 Porcentaje que el Subproceso representa del Tiempo Total.....	90
Tabla 4.4 Ocupación de los Recursos.....	90
Tabla 4.5 Ocupación de los Recursos: Tres Operadoras	91
Tabla 4.6 Ocupación de los Recursos: Tres Ambulancias Básicas	91
Tabla 4.7 Ocupación de los Recursos: Dos Ambulancias Avanzadas	92

Lista de Figuras

Fig. 1.1 Arquitectura Distribuida de Atención Sanitaria [7].	14
Fig. 2.1 Organización del Sistema Nervioso Autónomo [41].	27
Fig. 2.2 Fonocardiograma.	29
Fig. 2.3 Electrocardiograma [44].	30
Fig. 2.4 Electroencefalograma [45].	31
Fig. 2.5 Electromiograma.	31
Fig. 2.6 Magnetocardiograma.	32
Fig. 2.7 Mecanoespirograma.	33
Fig. 2.8 Presión Sanguínea no Invasiva.	34
Fig. 2.9 Concentración de Cortisol.	35
Fig. 2.10 Optoplethismograma.	36
Fig. 3.1 Diagrama de Flujo de las etapas de la Atención Prehospitalaria en Chile.	40
Fig. 3.2 Diagrama de Secuencia de la Atención Prehospitalaria en HGGB.	45
Fig. 3.3 Distribución de Tipos de Llamadas.	52
Fig. 3.4 Modelo de Simulación del Sistema Tradicional General.	60
Fig. 3.5 Etapa 1 de la Desagregación del Modelo Tradicional General.	61
Fig. 3.6 Etapa 2 de la Desagregación del Modelo Tradicional General.	62
Fig. 3.7 Etapa 3 de la Desagregación del Modelo Tradicional General.	62
Fig. 3.8 Diagrama de Clases del Sistema Propuesta para la Gestión de Alarmas Médicas.	64
Fig. 3.9 Holón Paciente.	65
Fig. 3.10 Holón Centro Regulador.	66
Fig. 3.11 Agente Directorio Facilitador 1 (DF 1).	67
Fig. 3.12 Holón Base.	67
Fig. 3.13 Holón Ambulancia.	68
Fig. 3.14 Directorio Facilitador 2 (DF 2).	69
Fig. 3.15 Holón Urgencia.	69
Fig. 3.16 Holón Hospital.	70
Fig. 3.17 Diagrama de Secuencias del Sistema Propuesto para la Gestión de Alarmas Médicas.	71
Fig. 3.18 Diagrama IDEF0 General del Sistema Propuesto para la Gestión de Alarmas Médicas.	74
Fig. 3.19 Diagrama IDEF0: Desagregado del Sistema Propuesto para la Gestión de Alarmas Médicas.	75
Fig. 3.20 Diagrama IDEF0: Desagregación Generación de Alarma (A1).	76
Fig. 3.21 Diagrama IDEF0: Desagregación de Gestión de Alarma (A2).	77
Fig. 3.22 Diagrama IDEF0: Desagregación de Gestión de Traslado (A3).	78
Fig. 3.23 Diagrama IDEF0: Desagregación de Proceso Hospitalario (A4).	79
Fig. 3.24 Información General de SPADE.	80
Fig. 3.25 Modelo de Simulación del Sistema Tradicional Simplificado.	81
Fig. 3.26 Modelo de Simulación del Sistema Propuesto Simplificado.	83
Fig. 4.1 Programación en SPADE: Holón Centro de Emergencia.	85
Fig. 4.2 Programación en SPADE: Agente DF 1.	86
Fig. 4.3 Programación en SPADE: Holón Ambulancia.	87
Fig. 4.4 Tiempos de Subprocesos Promedio por Tipo de Llamada.	89

Capítulo 1. Introducción

1.1. Introducción General

Los seres vivos se encuentran conformados por diferentes y complejos sistemas que cumplen con la tarea de realizar diversos procesos fisiológicos que permiten el correcto funcionamiento de sus organismos. Sin embargo, esta homeostasis en el sistema biológico, puede verse alterada en algún momento debido a distintos factores, tanto intrínsecos como extrínsecos, resultando en patologías que pueden ser detectadas, diagnosticadas y evaluadas a través del análisis de bioseñales producidas por el organismo. Según la naturaleza de estas señales biológicas, pueden clasificarse en: Bioeléctricas, Bioacústicas, Biomagnéticas, Biomecánicas, Bioquímicas, Bioópticas y de Bioimpedancia [1]. Como estas señales presentan un curso temporal, suelen llamarse variables fisiológicas, en donde las más comunes de ser evaluadas son: saturación de oxígeno, concentración de dióxido de carbono, temperatura, presión arterial no invasiva y electrocardiograma [2], [3], las que son de suma importancia para la práctica clínica, ya que permiten mediante su supervisión, ya sea constante o puntual, determinar tanto el estado basal del paciente, como la respuesta del mismo frente a diversos tratamientos.

Este monitoreo de salud permite controlar constantemente a pacientes con enfermedades crónicas, los que presentan una influencia significativa en los costos de salud de países desarrollados [4]; y a pacientes con edades avanzadas, quienes además de presentar mayor disposición a poseer enfermedades crónicas, van en aumento debido a la expansión en las expectativas de vida de la población [5]. Esto dará como resultado que el volumen de población en riesgo sea demasiado elevado para ser tratada adecuadamente en hospitales. Por este motivo, la demanda por sistemas relacionados al cuidado personal en el hogar o en ambientes extra-hospitalarios, no convencionales, aumentará [6].

Se han llevado a cabo distintos avances tecnológicos y metodológicos de los sistemas de monitoreo de pacientes, los que son utilizados para generar reportes que sirvan para evaluar estados de salud de los pacientes o enviar alarmas al detectar situaciones emergentes que puedan relacionarse con algún tipo de patología. Estos se han desarrollado

con el fin de ayudar al personal clínico a contar con mayor cantidad y calidad de información para apoyar la toma de decisiones clínicas, las que buscan adelantarse a eventos adversos. En este ámbito, variados documentos abordan diversos temas y problemas relacionados al monitoreo, dentro de los cuales encontramos:

- Problemas de adquisición y digitalización: debido a las características propias de amplitud, ruido y enmascaramiento de las señales biológicas, lo que se ha solucionado a partir de avances en los sensores que permiten, a partir de la selección de bandas de frecuencia específicas, atenuar los componentes de ruido y amplificar los componentes propios de la señal, además, el aumento en la velocidad de procesadores y almacenamiento de datos, permite una digitalización de mejor calidad, desde el punto de vista de la integridad de la señal [7].
- En cuanto a la arquitecturas de estos sistemas, se han propuesto distintos modelos con la finalidad de ofrecer nuevos servicios a los pacientes, desde minimizar el tamaño de los equipos de monitoreo, cuyo beneficio final es la portabilidad del sistema, apoyando la independencia del usuario; hasta ofrecer distintas opciones de diseño con el fin de buscar alternativas que reduzcan el consumo de batería, que permita una monitorización ambulatoria o que disminuya el costo de utilización del servicio [8].
- El avance en las redes de comunicaciones han permitido que el monitoreo de las variables fisiológicas, que determinan el estado de salud de los pacientes, pueda ser continuo, permitiendo aumentar la frecuencia de las mediciones y la actualización constante de las mismas, sin importar la ubicación del usuario del sistema. Estos beneficios, en conjunto con la integración de comunicación entre diferentes dispositivos de uso cotidiano han permitido establecer mejoras significativas a los distintos modelos de arquitecturas [9].
- La confiabilidad es un concepto que se define en varias investigaciones como “la medición de la continuación del cumplimiento correcto de los servicios previstos” o también como “la capacidad de un sistema para alcanzar sus requerimientos y funciones en base a las especificaciones y condiciones iniciales para un periodo preciso de tiempo”. Es por esto, que la confiabilidad de los sistemas de monitoreo de pacientes, está relacionada de manera inversa con aspectos de la comunicación, como son la tasa de pérdida de datos en la transmisión y los tiempos de espera asociados a la misma [10].

- La inteligencia de sensores comienza a utilizarse como un recurso necesario dentro del campo médico con la finalidad de que los actuales monitores evolucionen y entreguen un seguimiento integral de diversas variables fisiológicas. De esta manera, se busca asistir al personal clínico reduciendo la carga de trabajo al permitir facilitar el proceso de toma de decisiones entorno a los cuidados asistenciales médicos. Esto ha llegado más allá de ser una entrega de información en el lugar, ya que se ha extrapolado a modo de tele-asistencia donde los sistemas inteligentes pueden ser controlados a distancia por un médico o, inclusive, la familia de los pacientes. Además, esta inteligencia, permite que los sistemas reconozcan valores normales para las variables fisiológicas de cada paciente y eviten falsas alarmas; que sean capaces de reconocer la información importante, con el fin de concentrar en estos datos la atención del equipo médico; y que finalmente, sea posible integrar la información adquirida con los registros clínicos históricos de los pacientes, para facilitar el tratamiento y el diagnóstico [11].

Estos adelantos, han permitido en primer lugar, el desarrollo de la telemedicina, considerada como el conjunto de prestación que proporcionan y soportan servicios de salud a distancia, los que son optimizados utilizando recursos tecnológicos que permiten un ahorro de tiempo y dinero, y que facilitan los diagnósticos y la evaluación de tratamientos, ya que la sinergia de los componentes involucrados aumentan la precisión de los especialistas. La telemedicina, se define en la literatura como como “la integración de las telecomunicaciones para proteger y promover la salud” [12], lo que permite, mediante el uso de Tecnologías de Información y Comunicación (TICs, por sus siglas en inglés), proveer de educación a distancia y una asistencia sanitaria superior, detectando de forma prematura situaciones de emergencia para los pacientes, pudiendo proporcionar servicios sanitarios para personas con diferentes niveles de discapacidad [13], o en escenarios bélicos o de catástrofes. Además, el uso de TICs, reduce los problemas generados por el aislamiento geográfico y la baja densidad de población; entrega la capacidad de afrontar las problemáticas de la atención de salud en todos sus niveles, previniendo situaciones adversas para el paciente y disminuyendo costos tanto de repetición de pruebas como de esperas y viajes para buscar y recibir atención; permite la cooperación, mediante el intercambio avanzado de datos y prestaciones; es un medio para superar desafíos

lingüísticos y culturales; generan la posibilidad de contar con registros que pueden ser obtenidos por diversos profesionales de la salud, como farmacéuticos, médicos generales y especialistas para reducir errores y mejorar las decisiones clínicas; evita la oportunidad de contagio por enfermedades transmisibles desde centros hospitalarios; y finalmente, mejora la calidad de información disponible [14].

Tres generaciones de teleasistencia han sido propuestas y ensayadas para desarrollar soluciones que han demostrado ser exitosas y rentables en la tarea de presentar un sistema que permita salvar vidas. La evolución del funcionamiento de este sistema ha pasado desde la activación de alarmas manuales, luego por la incorporación de inteligencia al detectar eventos que los pacientes no pueden notificar activando alertas automáticas, llegando finalmente al monitoreo del bienestar de los pacientes. Si bien las características desarrolladas buscan adelantarse a las necesidades de los usuarios de estos sistemas, todas las versiones presentan como limitación, la ubicuidad del monitoreo, lo que obliga a los usuarios del sistema a realizar sus actividades cotidianas en un ambiente controlado, como sus hogares, para mantener el funcionamiento del monitoreo [15].

En segundo lugar, y debido a que la ubicuidad del monitoreo es un factor a considerar, se han desarrollado diversas aplicaciones y estudios sobre el concepto de salud móvil, por la privacidad, movilidad, latencia, flexibilidad y calidad de vida de los pacientes, ya que busca mantener el monitoreo y vigilancia de los usuarios de forma constante mediante el uso de tecnologías inalámbricas, eliminando la limitación de la ubicación y el desplazamiento (ver Fig. 1.1). Este nuevo enfoque de monitoreo, se ve influenciado por las nuevas generaciones de telefonía y telecomunicaciones inalámbricas, las que en conjunto brindan los componentes de procesamiento necesarios para que, los pacientes y médicos especialistas, puedan llevar un control riguroso y actualizado de la calidad de salud en todas las actividades cotidianas y detectando anomalías en las primeras etapas de diversas patologías [9]. A este nuevo enfoque, se le han agregado nuevos componentes metodológicos, que brindan a los sistemas características como autonomía, inteligencia y cooperación, las que son propias de los Sistemas Holónicos de Manufactura, conjunto de elementos tanto físicos como lógicos, que mediante la autonomía y la cooperación, buscan

de forma inteligente cumplir metas; y los Sistemas Multi-Agentes, que representan un conjunto de componentes lógicos, que mediante la autonomía, cooperación y/o competencia persiguen logros generales. Ambos paradigmas de la investigación de Sistemas Inteligentes de Manufactura, que se desarrollaron debido a la necesidad de modelar, a través del diseño y estructuración de bloques de software y/o hardware programables y configurables, sistemas distribuidos de gran escala, con componentes que aunque poseen metas individuales, establecen interacciones complejas con el fin de cumplir objetivos generales.

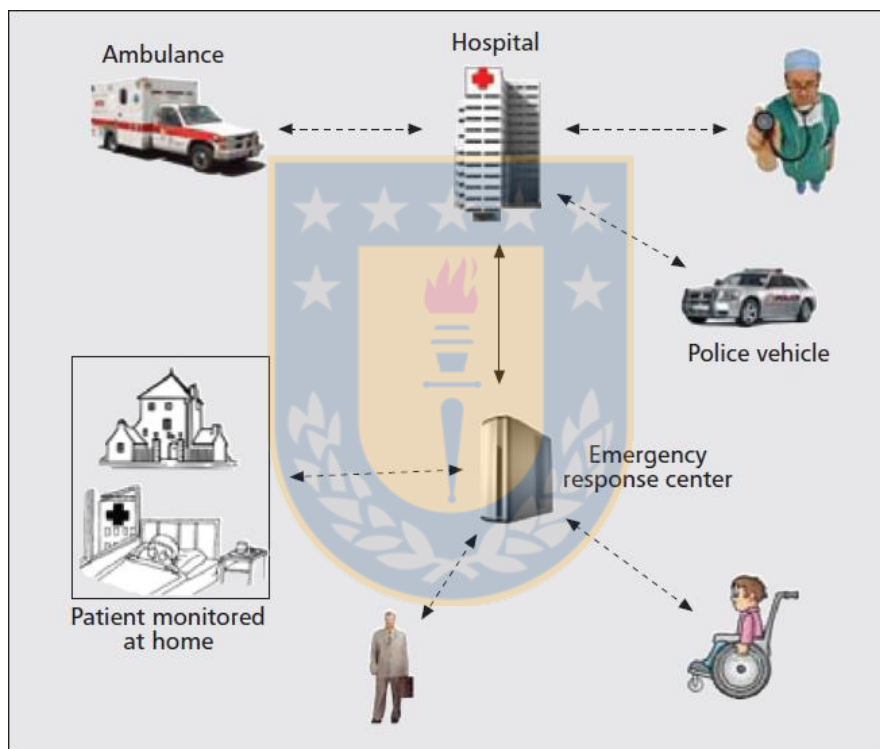


Fig. 1.1 Arquitectura Distribuida de Atención Sanitaria [7].

Sin embargo, a pesar de todos los avances en los sistemas de monitoreo de salud, que permiten la generación inteligente de alarmas, los sistemas de gestión de dichas alarmas no evolucionan de la misma manera, lo que genera que el sistema general no esté equilibrado, afectando directamente las medidas de rendimiento que repercuten en el servicio a los pacientes, por lo tanto esta investigación busca proponer un sistema automático para la gestión de alarmas médicas, y cuantificar el beneficio que presenta este enfoque por sobre el sistema tradicional del servicio prehospitalario nacional.

1.2. Hipótesis

Los Sistema Holónico, presentes en el campo de la manufactura inteligente, pueden ser utilizados para el diseño de un Sistema de Gestión de Alarmas Médicas que presente diferentes beneficios:

- Mayor efectividad que el método tradicional, ya que elimina el factor humano, fuente de errores y demoras en la comunicación y almacenamiento de la información.
- Capacidad de toma de decisiones automática y eficiente frente a perturbaciones en el sistema, lo que conlleva a una disminución en el tiempo de respuesta y una reducción de tareas del personal clínico.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar mediante la simulación de actividades y procesos, los beneficios que puede presentar en un sistema de atención prehospitalaria, al cambiar el enfoque tradicional por uno basado en las características de un Sistema Holónico.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Levantar la información necesaria para modelar el sistema de atención actual para la logística de gestión de alarmas.
- Filtrar la información necesaria de las bases de datos existentes para determinar el funcionamiento del sistema actual.
- Determinar indicadores y sus correspondientes medidas y evaluaciones.
- Simular el escenario tradicional, y el propuesto basado en Sistemas Holónicos.
- Dimensionar diferencias y similitudes de ambos enfoques para establecer conclusiones de la propuesta.

Capítulo 2. ANTECEDENTES

2.1. Revisión Bibliográfica

Si bien, la revolución industrial, como periodo histórico transcurrido desde la segunda mitad del siglo XVIII y principios del siglo XIX, nos heredó un sistema que presenta beneficios, al ser capaz de generar la gran cantidad de riquezas que ostenta la sociedad moderna y que permitió cambios profundos en ámbitos socioeconómicos, tecnológicos y culturales, al reemplazar el trabajo manual por las industrias de manufactura, también presenta serias limitaciones y debilidades, como su contribución como fuerza desestabilizadora en los procesos de manufactura en razón de materiales y recursos; duplicación de investigación y desarrollo, diferenciación superficial, excesiva competencia y avances tecnológicos que generan una rápida obsolescencia, islas de automatización, tecno nacionalismo, y destrucción del medio ambiente, entre otras. Es por esto, que la industria debe adaptarse a nuevos paradigmas, priorizando, y destacando la necesidad de la cooperación internacional, con el fin de maximizar la productividad global, nuevo indicador que se define como el cociente entre la perturbación medioambiental y el grado de beneficio a la población, que permite una competencia constructiva para lograr un desarrollo sostenible en relación a la recirculación del capital y la preservación ambiental. En consecuencia, surge el proyecto de Sistemas de Manufactura Inteligente (IMS, por sus siglas en inglés), con el fin de contribuir a la sociedad creando conocimiento compartido, como en el desarrollo tecnológico, a partir del nuevo paradigma de integración internacional [16].

Como parte de la investigación del IMS y haciendo uso de Sistemas Multi-Agentes (MAS) es que se desarrollaron los Sistemas de Manufactura Holónico (HMS) como casos de prueba donde se les ha definido su arquitectura inicial, metodología de ingeniería sistemas y las direcciones de su estandarización, ya que, para lograr asegurar su utilización, se necesitaran nuevos productos, profesionales y herramientas; y la creación o modificación de diferentes normativas para establecer límites y requisitos al diseño de los HMS. Son los investigadores de este último caso de prueba, los que han podido detectar factores críticos que afectan la agilidad, característica necesaria para adaptarse de forma rápida a las

necesidades de los usuarios y que determina el éxito de las industrias de manufactura moderna. Entre estos, podemos encontrar el manejo de perturbaciones, para reconocer y responder al mal funcionamiento; la robustez, para mantener el sistema funcionando a pesar de fallas eventuales, y finalmente la disponibilidad, para asegurar y facilitar la mantención de los componentes del sistema. Todo esto requiere una arquitectura con sistemas reprogramables y reconfigurables, que posean inteligencia necesaria para permitir la cooperación, auto-programación, planificación, reconocimiento de fallos, diagnóstico y reparación; integración humana y finalmente, la flexibilidad [17]. Estas características, presentes en los sistemas de manufactura holónica, son el resultado del reconocimiento de las debilidades de los sistemas de manufactura centralizados, como la no representación de la incertidumbre, el deficiente modelamiento de los programas, la incapacidad para agregar restricciones, el alto nivel de conocimiento y el esfuerzo computacional necesario para realizar los modelos [18]; y por lo tanto, representan la evolución de los mismos al ser sometidos a un proceso de mejora continua.

Con el fin de responder a las demandas de la industria, se crean sistemas de control de producción inteligentes que se caracterizan por poseer cualidades como modularidad, descentralización, autonomía, escalabilidad y reutilización, las que podemos encontrar en los paradigmas de Sistemas Multi-Agentes y Sistemas Holónicos de Manufactura, los que pueden responder de manera oportuna y correcta al cambio, adaptándose de manera automática a las diversas situaciones que puedan surgir. Sin embargo, las debilidades de ambos paradigmas son, en primer lugar, los altos costos de inversión y la necesidad de tecnología comprobada, así como también la complejidad intrínseca de los sistemas distribuidos, lo que representa un obstáculo para la industria, así como también la capacidad de auto-organización, la interoperabilidad y la integración de distintos dispositivos físicos de automatización; y en segundo lugar aspectos específicos que se relacionan con el desarrollo de los sistemas como la escalabilidad, la complejidad misma del sistema y la necesidad de crear una línea de investigación dirigida a la reacción frente a diversas perturbaciones. Todas estas problemáticas, finalmente, son las que dificultan su implementación en la industria [19].

A pesar de estas dificultades, estos paradigmas han sido implementados en diversas áreas relacionadas a la producción industrial, en donde las soluciones que se necesitan, requieren unidades altamente distribuidas, autónomas y cooperativas. Una de las áreas, es la gestión de la producción, ya que los enfoques centralizados utilizados en la industria tradicional, no son adecuados en un ambiente que exige, entre otras cosas, robustez y capacidad de reconfiguración, para hacer frente a la demanda emergente y altamente personalizada. Es así como los agentes inteligentes, los que por un lado, representan una unidad productiva dentro de su ciclo de vida respectivo, ayudan a solucionar problemáticas relativas a la planificación y a la programación de las actividades; y por otro lado, los que solucionan problemas de integración de la información y que engloban las tareas relacionadas a la reactividad, organización, exploración del conocimiento de los agentes individuales y, finalmente la comunicación entre entidades, la que se rige por estándares y protocolos de negociación, para establecer objetivos comunes, estados, capacidades, reglas y restricciones, las que se son establecidas en la iniciativa de la Fundación de Agentes Físicos Inteligentes (FIPA, por sus siglas en inglés).

Las empresas virtuales, es otra de las áreas donde los agentes inteligentes son utilizados, esto se debe a que los enfoques jerárquicos no presentan una respuesta adecuada en ambientes de negocios con tareas altamente complejas y con un crecimiento continuo en entornos turbulentos, en donde se requiere la capacidad de reaccionar a eventos impredecibles. Para este enfoque, cada empresa es considerada como un agente capaz de desarrollar todas sus funciones para establecerse y desenvolverse en todos los niveles necesarios para los distintos ambientes de negocios y las diversas estrategias de los mismos [20].

Las características de estos nuevos paradigmas, han llevado a que se busque adaptar estos enfoques al área de la salud. Es así como nace el planteamiento de holarquías médicas, sistemas que pretenden lograr que distintas entidades médicas, como profesionales clínicos, pacientes, dispositivos, equipos y equipamientos médicos, hospitales y sus diversos departamentos, etc., que pueden reconocerse como integrantes de los servicios de salud, puedan colaborar para proporcionar un servicio de excelencia que permita otorgar

beneficios a los usuarios garantizando la ubicuidad de su asistencia, debido básicamente a los distintos niveles de comunicación y seguridad, planteados como requisitos en los Sistemas de Manufactura Holónicos. Entre estos beneficios podemos encontrar [11]:

- Permitir que las entidades médicas más adecuadas, sin importar su ubicación, puedan interactuar de manera óptima y coordinada, para obtener resultados que beneficien a los usuarios.
- Acceso inmediato a la información médica y patológica del historial médico de cada paciente, con el fin de integrar la información obtenida del monitoreo de variables fisiológicas y los registros históricos, y así generar notificaciones que puedan adelantarse a la aparición de enfermedades.
- Establecer una arquitectura flexible, que permita la configuración y reconfiguración de la organización del sistema en base a los datos médicos, lo que posibilita que la gestión de salud se centre en el paciente.
- Permitir la cooperación efectiva de distintos profesionales para facilitar la toma de decisiones en situaciones que deriven en diagnósticos contradictorios por enfermedades múltiples.
- Facilitar la logística que desencadenan las situaciones emergentes de urgencias médicas, desde la notificación de la alerta proveniente del monitoreo del paciente; pasando por el envío de móviles de urgencia; hasta la estabilización de la condición de salud del paciente en un centro médico o en el lugar del evento adverso, con el fin de mejorar indicadores de desempeño.

Sin embargo, la composición de una holarquía médica que permita garantizar el cumplimiento de objetivos globales de forma óptima, a partir de la interacción de los componentes y del logro de las metas individuales, presenta diversos desafíos, entre los que podemos encontrar:

- Asegurar la compatibilidad y la interoperabilidad, entre los componentes individuales que conforman los distintos sistemas que deben interactuar, con el fin de apoyar los procedimientos y métodos, clínicos, administrativos y técnicos, propios de los centros de salud.

- Establecer las funciones necesarias que deben desempeñar los distintos agentes, y los nexos que deben crear para asegurar el cumplimiento de los objetivos globales y de los específicos.
- Mantener los niveles de calidad y seguridad, generando protocolos y restricciones específicos para los integrantes de los diferentes sistemas involucrados.

Finalmente, al comparar el nivel de desafío y los beneficios asociados, puede concluirse que el desarrollo de holarquías médicas es una opción a considerar para satisfacer las necesidades y requerimientos de los actuales sistemas de salud, como el acceso a la atención ubicua y la gestión de las diversas áreas de los servicios médicos, por lo que nuevos profesionales relacionados a la bioinformática y los tradicionales profesionales de salud, deben asumir el esfuerzo y los riesgos asociados [21].

Una revisión de las aplicaciones dentro de la literatura, demuestra la factibilidad de constituir este sistema para apoyar ciertos campos de la gestión clínica. Dentro de ellos, destacan: Gestión de Datos Clínicos [22], [23] y [24], para la recuperación y procesamiento de datos médicos como la ficha clínica única de pacientes; Sistema de Apoyo a la Toma de Decisiones [25], [26] y [27], específicamente para la realización de actividades asistenciales como diagnósticos y tratamientos; Asignación de Recursos y Planificación [28], [29] y [30], relacionado con la coordinación de recursos humanos y materiales; Atención a Distancia [31], [32] y [33], para monitorear el estado de salud general de pacientes en entornos no hospitalarios; y por último, Sistemas Compuestos [34], los cuales son una combinación de los campos anteriores [35] .

a) Gestión de Datos Clínicos: la gran cantidad de información médica que puede encontrarse en línea y lo distribuido de las fuentes, hace necesario que esta sea filtrada y organizada para obtener los datos necesarios para facilitar y optimizar el trabajo de los profesionales clínicos.

Dentro de la literatura podemos encontrar distintas aplicaciones que tienen como finalidad la Gestión de Datos Clínicos, y como característica común, la capacidad de los agentes para ingresar a múltiples fuentes distribuidas:

- *National Electronic Library for Health (NeLH)*, es un proyecto basado en la creación de un portal que permite extraer información médica relevante y con evidencia científica desde Internet y cuya arquitectura se basa en capas de acceso [22].
- *Virtual Electronic Patient Record (VEPR)*, es un sistema que permite la integración, en una plataforma única, la información que distintos departamentos de una institución médica puede extraer de los pacientes, ya sean diagnósticos, tratamientos o intervenciones quirúrgicas pasadas [23].
- *Context-aware Hospital Information System (CHIS)*, enfoque MAS para otorgar inteligencia ambiental y proactividad a los distintos procesos y entornos sanitarios, entregando información según sea necesaria [24].

b) Sistema de Apoyo a la Toma de Decisiones; estos sistemas, se crean con el objeto de brindar a los profesionales del área de salud información clara y detallada, la que debe poseer cantidad y calidad suficiente, para apoyarlos durante los procesos relacionados a la atención clínica de los pacientes.

Dentro de las investigaciones realizadas podemos encontrar variados enfoques para la manipulación de la información, lo que permite, mediante la interacción con el usuario, el Apoyo a la Toma de Decisiones, generando recomendaciones, cuya especificidad depende de la calidad del conocimiento utilizado:

- Un asistente inteligente, es el encargado de procesar el conocimiento existente basado en experiencias y casos anteriores, permitiendo recopilar los fundamentos para las futuras intervenciones sanitarias. El mecanismo de resolución, se basa en la desagregación de los problemas complejos, para posteriormente unir las soluciones parciales [25].
- *Healthagent*, es un sistema que permite consultar a las bases de datos de otros centros sanitarios mediante un directorio facilitador. Los médicos registran las visiones y diagnósticos de sus casos de tumores cerebrales, las que pueden ser posteriormente consultadas por otros profesionales clínicos para ayudar a su propia resolución de casos [26].

- *Health Care Service*, es una plataforma distribuida que tiene la finalidad de entregar servicios de salud proactivo a los pacientes y profesionales, en forma de una guía clínica basada en agentes autónomos con roles, conocimientos y datos propios [27].
- c) Asignación de Recursos y Planificación: los requerimientos de recursos, físicos y humanos, son realizados por los distintos departamentos de un centro hospitalario, los que deben estar sometidos a técnicas apropiadas de planificación con la finalidad de optimizar los capitales en base a las demandas de los usuarios y los procesos asistenciales.
- *Agent Hospital*, es un marco de trabajo abierto basado en agentes para aplicaciones altamente distribuidas, brindando integración a los sistemas inteligentes ya existentes en el campo de los cuidados de la salud [28].
 - CARREL, es una institución electrónica mediadas por agentes, que tiene por objetivo ayudar en la toma de decisiones que regulan la asignación y distribución de órganos y tejidos para trasplantes cumpliendo con requisitos y limitaciones de los correspondientes procedimientos y situaciones legales [29].
 - *Medical Information Agent*, es un proyecto que busca otorgar mayor eficiencia a los procesos asistenciales propios de una atención médica, los que se caracterizan por su dinamismo y su baja capacidad de planificación/reacción en tiempo real [30].
- d) Atención a Distancia: sistemas que permiten la evaluación del estado general de salud de los pacientes, los que están compuestos por distintos implementos que permiten realizar tareas de adquisición de información desde los pacientes, el proceso de análisis de la señal captada por el sensor y la generación de alarmas que se envían al personal clínico.
- En la revisión de la literatura, podemos encontrar distintos avances en el campo del monitoreo remoto de pacientes, en donde se presentan distintas arquitecturas y funcionalidades que permiten apoyar al personal clínico y mejorar la calidad de vida de los usuarios, entre ellos podemos encontrar:
- El Sistema Aingeru, permite que los pacientes mayores sean monitorizados de forma inteligente, continua y remota, mediante una serie de sensores que adquieren diversas variables fisiológicas que son analizados en una PDA personal del paciente,

la que detecta de forma proactiva situaciones adversas, y evalúa la necesidad de emitir alarmas que puedan ser recibidas por un especialista en un centro de salud, el que puede tener acceso a los datos del paciente [31].

- El sistema propuesto por Koutkias, busca mejorar la supervisión, educación y vigilancia de pacientes con enfermedades crónicas, monitoreando continuamente a los pacientes y evaluando la información, contrastándola con reglas definidas por el personal clínico, y entregando al usuario recomendaciones en tiempo real para mejorar el plan educativo del paciente [32].
- El sistema propuesto por Cervantes, propone un flujo de información por los agentes, que comienza por la obtención de datos fisiológicos, los que son analizados para detectar síntomas, los que son almacenados para identificar el estado del paciente e informarlo al médico, en donde el agente responsable toma la decisión de las actividades que debe seguir el paciente [33].

e) Sistemas Compuestos: distintos Sistemas Inteligentes, son utilizados para coordinar procedimientos que buscan suministrar atención médica eficaz, principalmente a personas con enfermedades crónicas, discapacitadas y/o adultos mayores, que por su condición, se les dificulta acceder a los sistemas de salud tradicional, por lo que se les presentan aplicaciones médicas para su utilización en ambientes extra-hospitalarios. Estos sistemas, en general, mezclan las alternativas anteriores, con el fin de mantener una continua retroalimentación entre pacientes, cuidadores y personal clínico, monitoreando constantemente el estado del paciente, su entorno y sus actividades, lo que conoce como ambientes inteligentes, generando alarmas y recomendaciones, además de poder almacenar síntomas, evaluar diagnósticos y tratamientos, lo que ayuda a la toma de decisiones y planificar procedimientos, consultas y planes de intervención [34].

La gestión de alarmas y aplicaciones para la unidad de emergencia, son campos de investigación en donde los sistemas inteligentes están aportando, nuevas características, a los sistemas de salud, las que permiten otorgar nuevos beneficios al personal clínico y a los pacientes. Un sistema de gestión de alarmas, se está utilizando para la supervisión a distancia de pacientes que deben asistir constantemente a centros hospitalarios para el

análisis de su evolución, esto se realiza mediante la informatización de un formulario que permite conocer la autoevaluación subjetiva de diferentes aspectos relacionados a las patologías, y alertar a los entes correspondientes cuando la percepción del paciente, de su estado de salud, se ve notoriamente disminuido. Además, la información recibida permite a los clínicos mejorar la toma de decisiones, como consultar a otros especialistas, ordenar nuevos exámenes o tratamientos, entre otras; y mantener una línea de comunicación directa con el paciente, como enviar recordatorios de consultas [36]. Las aplicaciones para unidades de emergencia inteligentes, es un caso particular de los ámbitos cubiertos por los sistemas de salud electrónica, el cual busca brindar al personal de emergencia herramientas que permitan actuar de forma más eficiente frente a situaciones médicas tan sensibles como imprevistas. Entre los aportes se pueden mencionar la capacidad de que los médicos puedan acceder a los perfiles clínicos de los pacientes mientras las ambulancias aún se desplaza hacia el sitio de la emergencia, lo que permite contar con información como patologías, medicamentos en uso o contraindicados al paciente, para prepararse antes de llegar o planificar un plan de acción para enfrentar la situación. Además, si el paciente cuenta con sistemas de monitoreo remoto y continuo, se puede conocer la afección que lo afecta antes de llegar al lugar de la emergencia, o aún más, antes que la patología se manifieste generando una situación de alarma, lo que es un gran beneficio para los pacientes con enfermedades vasculares, donde el tiempo es un factor determinante que define la gravedad del evento. Además, estos sistemas, entregan información para planificar los procedimientos y recursos, o para filtrar y categorizar de mejor manera la gravedad de la situación, al descartar, por ejemplo, situaciones en donde el paciente no registre un compromiso vital inmediato [37].

Sin embargo, y según lo expuesto con anterioridad, la literatura no aborda la problemática de la logística en emergencias médicas, ni como un sistema inteligente basado en una holarquía, puede optimizar estas áreas de los sistemas de salud, otorgando beneficios tanto para los pacientes como al personal clínico.

2.1.1 Sistemas Holónicos vs Sistema Multi-Agentes

Los Sistemas Holónicos de Manufactura y los Sistemas Multi-Agentes han sido descritos como sinónimos en gran parte de la literatura, esto debido a que presentan similitudes en cuanto a principios como autonomía, refiriéndose a la propia capacidad de un elemento de elegir y controlar la realización de su planificación; cooperación, como un proceso que ocurre en un conjunto de elementos desarrollándose un apoyo mutuo; e inteligencia, ya que deciden la mejor manera de cumplir sus objetivos. Sin embargo, estos paradigmas poseen, desde sus inicios, orientaciones distintas.

Koestler, reconocido como el responsable de originar, debido a su trabajo [38], el término de Holón, de manera de especificar los elementos y principios básicos que determinan la auto-organización de sistemas sociales y biológicos; en donde Holo significa “todo” y el sufijo on, se utiliza para referirse a “parte” como en protón o neurona [39].

Como definición, un Holón es un bloque de construcción autónoma, cooperativa e inteligente de un sistema para la transformación, el transporte, almacenamiento y / o validación de la información y los objetos físicos. Estos Holons se organizan en Holarquías con el fin de cumplir objetivos; por lo tanto es este sistema quien delimita las normas de cooperación y autonomía. Este concepto se ha utilizado como modelo para estructuras auto-organizacionales, considerándola como una jerarquía anidada, comportándose como un todo autónomo y, sin embargo, como partes que cooperan para llegar a una meta, “el todo en la parte”. En definitiva, lo mínimo que debe poseer un ente para ser denominado Holón es la autonomía y cooperación. Ambos conceptos generan una dualidad en el ente que llegan incluso a tomarse como fuerzas contradictorias, sin embargo dentro de una Holarquía equilibrada delimitada por reglas, dota independencia e integración a cada Holón dentro del sistema.

Por otra parte, los Sistemas Multi-Agentes, creados en respuesta a la necesidad de controlar múltiples interacciones entre sistemas a gran escala; tiene la capacidad de comunicarse y tomar decisiones respecto a ciertos estímulos; poseen un funcionamiento

que accede iniciar la acción de manera autónoma. Estas estructuras, se organizan para la formación de sistemas que trabajan bajo el concepto de autonomía e inteligencia.

Dentro de la literatura se ponen en manifiesto distintas características que diferencian entre un Sistema Holónico y un Sistema Multi-Agentes [21], sin embargo se parte de la premisa que ambos sistemas poseen los mismos principios básicos de autonomía, cooperación e inteligencia, además de la exploración de la distribución y la descentralización del accionar de las distintas entidades.

La procedencia de los Sistemas Multi-Agentes es el ordenador, es decir, la inteligencia artificial misma, y la de los Sistemas Holónicos es la rama de ingeniería informática centralizado a los sistemas de fabricación flexible. En relación a esto, los componentes del MAS están representados por software que tienen la finalidad de integrar los recursos físicos, a diferencia de los componentes de un HMS, quienes, son el resultado de integrar recursos, o componentes, físicos y lógicos, con lo que se establecen sistemas más amplios de trabajo.

Específicamente en el control de trabajo en tiempo real, en ocasiones, es necesario realizar ciertas tareas que permitan modificar y así mejorar ciertas acciones programadas; en este punto los Agentes no garantizan restricciones en tiempo real, en cambio los Holons deben cumplir con estas restricciones de manera de llegar con éxito al plan programado [40]. Otra característica es que en un sistema Holónico, un Holón puede estar compuesto por varios subniveles, representando un todo y parte de un todo; un Agente no soporta esta característica. Finalmente, una característica que diferencia a estos sistemas, es que si bien, ambos están basados en la cooperación, los Agentes, a diferencia de los Holons, tienen la facultad de competir entre ellos con el fin de optimizar las respuestas, por este motivo el MAS presenta un foco en las interacciones dinámicas, mientras que en el HMS se encuentran preasignadas.

2.2. Monitorización de Señales Biomédicas

Entre las tantas labores que los seres vivos deben realizar para garantizar su existencia, podemos encontrar el control de diversas entradas y estímulos, tanto intrínsecos como extrínsecos, que permiten que el organismo se mantenga dentro de parámetros que posibiliten su normal funcionamiento. Esta tarea, es realizada por los diferentes sistemas y subsistemas que lo componen, como el Sistema Vasomotor, Sistema Termorregulador, Sistema Nervioso Autónomo (ver Fig. 2.1); los que a través de diversos y complejos procesos fisiológicos, como la desintoxicación, la regulación del ciclo de los estados de sueño-vigilia, el suministro de nutrientes, entre otros, permiten obtener la homeostasis del organismo en función a la necesidad que presente el individuo.

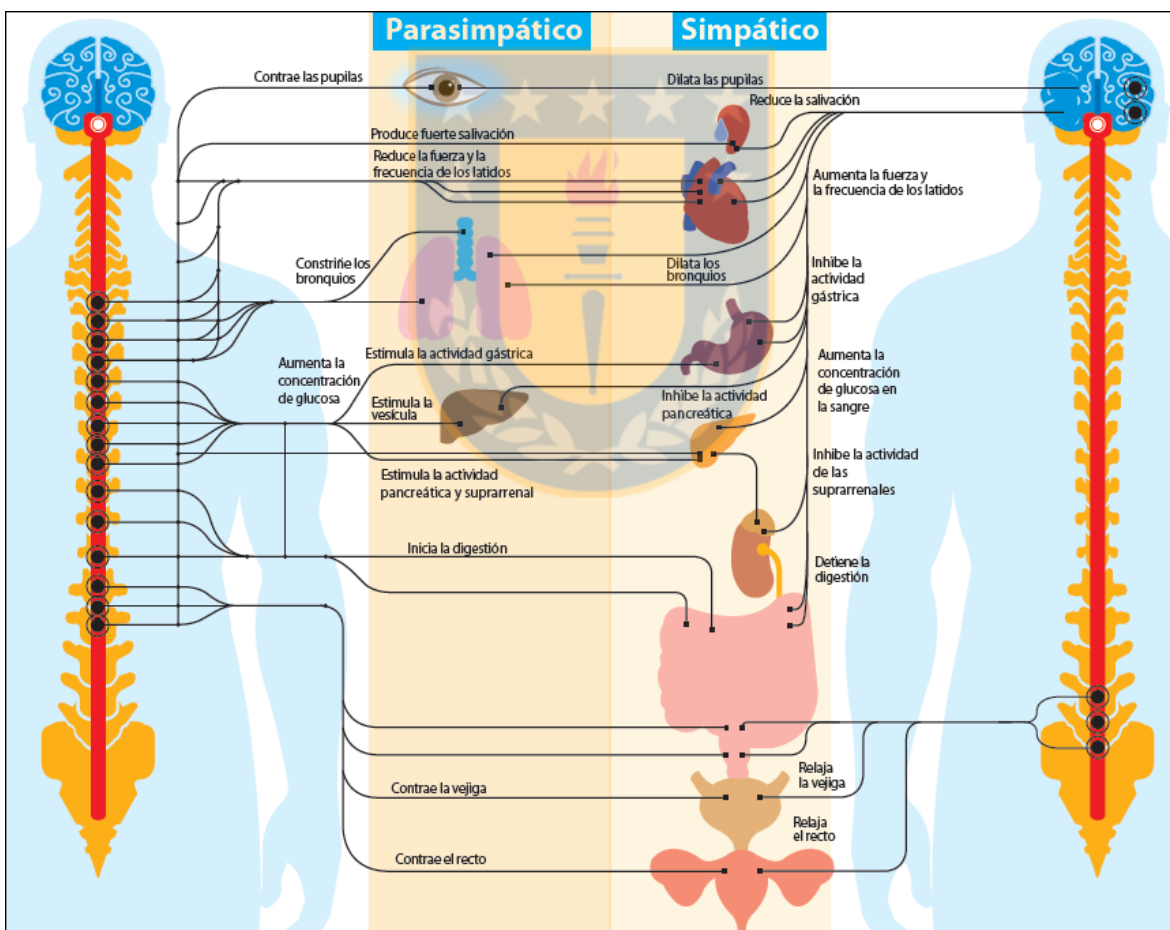


Fig. 2.1 Organización del Sistema Nervioso Autónomo [41].

Estos procesos fisiológicos, se manifiestan a través de señales que reflejan su naturaleza y actividad, y que mediante su adquisición y evaluación, transmiten información que permite emitir diagnósticos sobre el estado de funcionamiento de los distintos sistemas fisiológicos. Esto, se debe a que cuando los sistemas biológicos presentan alteraciones o defectos, dan lugar a procesos patológicos, cuyas bioseñales generadas presentan aspectos que difieren del trazado en condiciones de normalidad [42].

Varios tipos de tecnologías para la detección de variables fisiológicas ganan importante relevancia para aplicaciones de diagnóstico, tratamiento y monitoreo continuo de pacientes, ya que facilitan el análisis y procesamiento de éstas, sin embargo, para la correcta adquisición y caracterización de estas señales, el instrumental seleccionado debe presentar diversas consideraciones, entre las que se encuentran las amplitudes y frecuencias de la señal; influencias por factores intrapaciente, los que pueden producir cambios a cualquier persona frente a estímulos internos o externos; influencias por factores interpacientes, los que dependen del tipo de paciente; condiciones basales del paciente; y, finalmente, dentro de la clasificación en la cual podemos ubicar la señal [43].

Tabla 2.1 Tipos de Sensores

Tipo de Sensor	Descripción
Físico	Entre las variables fisiológicas asociadas a sistemas biológicos, que pueden obtenerse a partir de movimiento o deformación de ciertos componentes, podemos encontrar: presión sanguínea, temperatura corporal, presión de fluido cerebroespinal, flujo sanguíneo, estiramiento muscular, etc.
Químico	Entre las variables fisiológicas asociadas concentración de sustancias químicas en los sistemas biológicos podemos encontrar: glucosa, cortisol, dióxido de carbono u otros compuestos.
Electrodos de Biopotencial	Entre las variables fisiológicas asociadas a actividad eléctrica de sistemas biológicos, como campo eléctrico o flujo de corriente, podemos encontrar: electrocardiograma, electroencefalograma

Dentro de la clasificación más común para las bioseñales, encontramos su origen. La fuente desde la que la variable fisiológica es detectada o su naturaleza física, permite determinar el tipo de transductor o sensor (ver Tabla 2.1) adecuado para que la información del proceso de interés sea adquirida. Según esta clasificación, podemos encontrar: Señales Bioacústicas, Bioeléctricas, de Bioimpedancia, Biomagnéticas, Biomecánicas y Bioquímicas [43].

2.2.1 Señales Bioacústicas

Estas señales, generadas a partir del ruido acústico producido por diferentes procesos fisiológicos, y propagados a través del medio biológico, permiten obtener de forma no invasiva información sobre el funcionamiento, composición y/o condiciones patológicas de distintos sistemas. El flujo de aire a través de las vías aéreas superiores e inferiores, para diagnosticar insuficiencias y obstrucciones; ruidos obtenidos de la contracción muscular y del sistema cardiovascular.

A. Fonocardiografía

Es una técnica clínica utilizada para registrar de forma gráfica los sonidos cardiacos relacionados al cierre consecutivo de válvulas presentes en el corazón, las que generan ruidos discernibles y característicos (ver Fig. 2.2), a los cuales puede evaluarse su amplitud y frecuencia, lo que entrega información sobre la fuerza de cierre y la rigidez de las válvulas respectivamente; al flujo de sangre en el proceso de llenado pasivo de las cámaras del corazón, en donde pueden diagnosticarse estenosis valvulares o insuficiencias cardíacas; y finalmente a la contracción auricular.

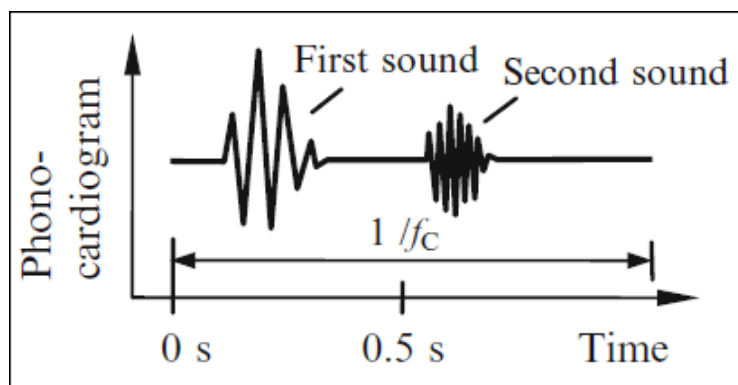


Fig. 2.2 Fonocardiograma

2.2.2 Señales Bioeléctricas

Estas señales, producidas a partir de las corrientes iónicas que se generan en las células excitables de los sistemas biológicos debido a la actividad electroquímica de la membrana, la que se genera por las diferencias de concentración y permeabilidad de diferentes iones que producen un potencial bioeléctrico transmembrana, presentan dos etapas características. En condiciones normales, las células se encuentran en un equilibrio, sin embargo, exhiben de un potencial negativo intracelular (potencial de reposo). Por otro lado, un potencial positivo puede registrarse en las células durante un tiempo restringido si algún tipo de estimulación consigue modificar la permeabilidad de la membrana hasta que la tensión supere una amplitud umbral, consiguiendo un potencial de acción.

Como estos potenciales pueden adquirirse de forma superficial, a través de un transductor que convierte el flujo iónico en una corriente eléctrica, el proceso de adquisición resulta no ser invasivo para el paciente y brinda información para el estudio y monitoreo de los sistemas biológicos más importantes.

A. *Electrocardiografía*

Registro de la manifestación eléctrica de la actividad contráctil del corazón mediante intervalos y segmentos, que representan la propagación de potenciales de acción a través del musculo cardíaco; y diferentes ondas, que, al representar las depolarizaciones y repolarizaciones de las distintas zonas del miocardio, se puede evaluar de ellas su sentido y su amplitud (ver Fig. 2.3). El registro de esta señal, permite caracterizarla para obtener datos de importancia clínica, y detectar y diagnosticar diversas patologías [42].

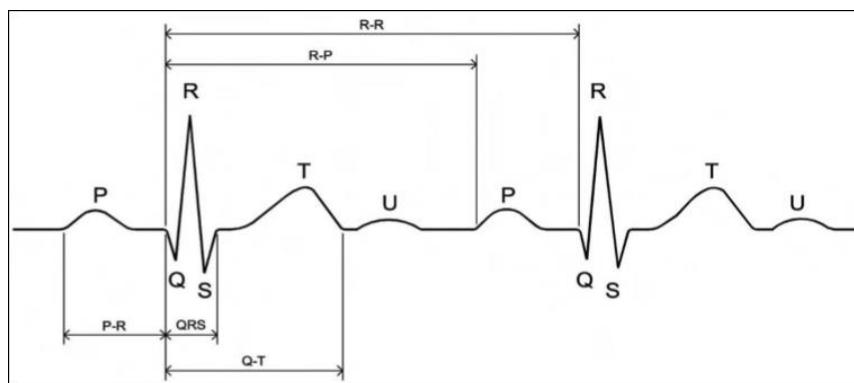


Fig. 2.3 Electrocardiograma [44]

B. Electroencefalografía

Técnica que registra la actividad eléctrica de las neuronas en el encéfalo y que se refleja mediante complejas formas (ver Fig. 2.4), que en general no presentan patrones definidos, lo que se deben a la cantidad y diversidad de interconexiones neuronales y la estructura no uniforme del encéfalo. La evaluación se realiza principalmente sobre cuatro ondas, que permiten el diagnóstico y tratamiento de enfermedades y lesiones cerebrales, además del estudio de trastornos del sueño y estados de conciencia.

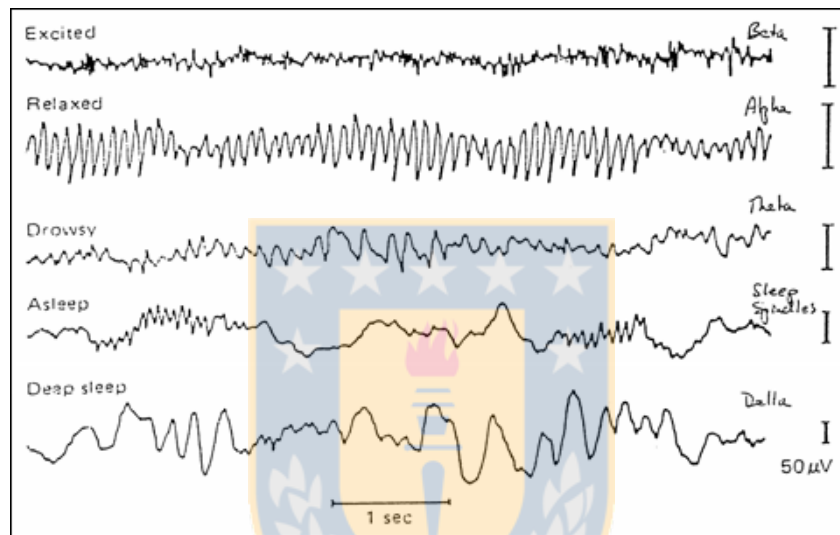


Fig. 2.4 Electroencefalograma [45]

C. Electromiografía

Técnica que registra la contracción tanto de fibras, como del músculo esquelético general (ver Fig. 2.5), y en donde se evalúa amplitud y frecuencia para el diagnóstico de distintas patologías.

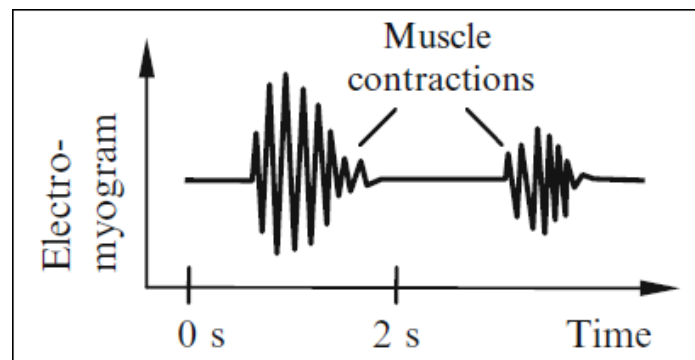


Fig. 2.5 Electromiograma

2.2.3 Señales de Bioimpedancia

Estas señales se producen a partir de la medición de la resistencia que ejercen los tejidos al paso de una corriente alterna a través de ellos, la que debe considerar parámetros característicos para evitar problemas en los sistemas biológicos. Para su adquisición, se utilizan cuatro electrodos (dos para la inyección de corriente y dos para medir la caída de tensión), los cuales pueden entregar información sobre composiciones, volúmenes, actividad endocrina y del sistema nervioso, entre otras.

2.2.4 Señales Biomagnéticas

Estas señales muestran los débiles campos magnéticos que producen las corrientes no estacionarias producidas por varios órganos, como el corazón, el cerebro, los pulmones, entre otros. Aunque este tipo de señales son beneficiosas, al permitir obtener información fisiológica que no está incluida en otro tipo de señales de sistemas biológicos, presentan como dificultad la debilidad de las señales producida por la fuente emisora, lo que debe superarse a través de altas precauciones y características, de diseño y operación, que deben presentar los equipos de adquisición.

A. *Magnetocardiografía*

Técnica utilizada para registrar los campos magnéticos inducidos por la actividad de corrientes iónicas que presentan las fibras musculares del miocardio durante el proceso del ciclo cardíaco, y aunque la señal de MCG (ver Fig. 2.6) no entrega una gran cantidad de nueva información, esta es importante y es complementaria con la del ECG, ayudando a que el personal clínico a diagnosticar de forma más precisa.

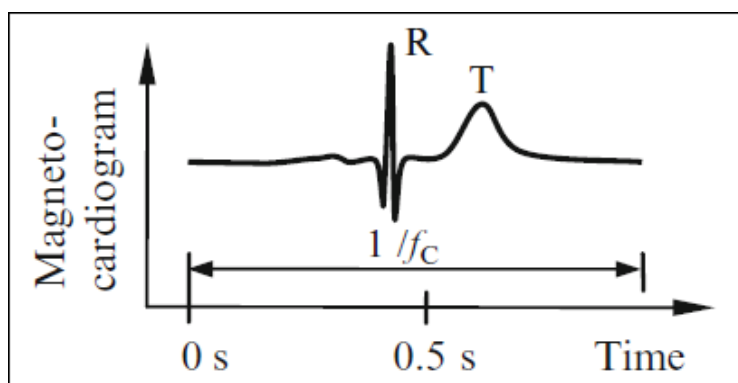


Fig. 2.6 Magnetocardiograma

2.2.5 Señales Biomecánicas

Estas señales agrupan a todas aquellas que se originan a partir de alguna función mecánica del sistema biológico, e incluyen las originadas por deformación, locomoción, vibraciones, desplazamiento, entre otras. En el campo de la biomedicina, las señales biomecánicas necesitan de una gran variedad de transductores, y como el fenómeno mecánico no se propaga por el sistema biológico, la adquisición de datos fisiológicos debe realizarse en el lugar donde estos se originan.

A. Mecanorespirografía

Variadas técnicas son utilizadas para el análisis y evaluación del estado y funcionamiento pulmonar, de donde pueden agruparse medidas de distintas variables fisiológicas. Medidas de presión del sistema respiratorio, deben considerar transductores que posean gran sensibilidad. La obtención de información de flujos, entrega índices clínicos relacionados a la capacidad ventilatoria de los pacientes. La mecanorespirografía (ver Fig. 2.7), que muestra los cambios en la circunferencia abdominal, puede entregar información sobre los distintos volúmenes del sistema pulmonar, lo que debe estar acompañado de un estudio de espirometría.

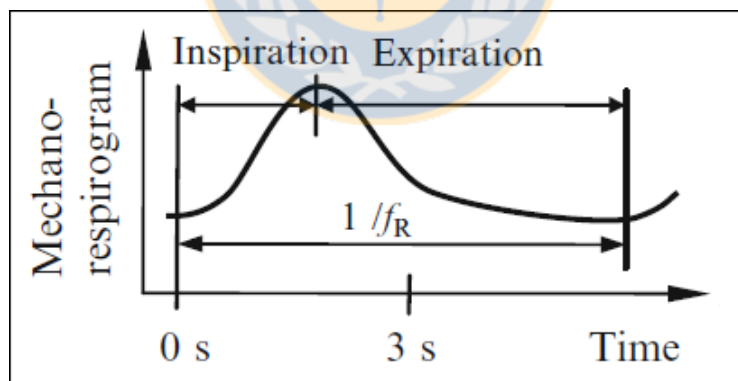


Fig. 2.7 Mecanorespirograma

B. Temperatura

Dato clínico utilizado para establecer la condición de estado de normalidad en un individuo, ya que se mantiene dentro de un estrecho margen y es independiente de las variaciones ambientales. Es utilizado para detectar estados de hipo e hipertermia, así como estados febriles asociados a infecciones, enfermedades neoplásicas e inmunológicas.

C. *Presión Sanguínea no Invasiva*

Técnica indirecta que permite obtener información de la actividad mecánica del corazón, adquiriendo las medidas de presión sistólica (máxima) y diastólica (mínima), sin embargo, presenta la dificultad de conseguir la forma de onda de esta variable fisiológica. Esta técnica se basa en un proceso de oclusión de la arteria radial (ver Fig. 2.8), a la altura del corazón para evitar errores por las presiones hidrostáticas, mediante un brazalete lleno de aire a presión. La medida de la presión sanguínea es necesaria, ya que permite identificar patologías como insuficiencias valvulares o estados de hipo o hipertensión.

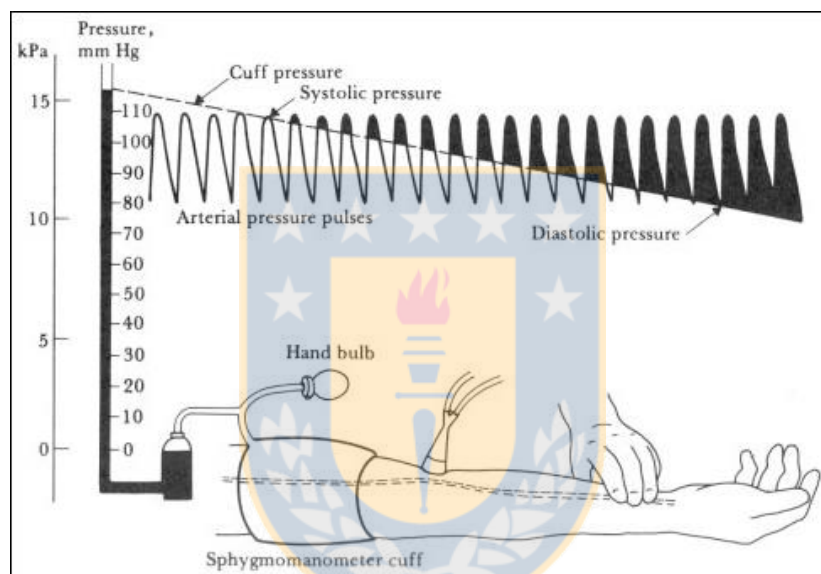


Fig. 2.8 Presión Sanguínea no Invasiva

2.2.6 Señales Bioquímicas

Estas señales son el resultado de mediciones que se realizan en los sistemas biológicos, tanto de organismos vivos como de muestras en laboratorios, con el fin de obtener información sobre la composición y concentración química de distintas sustancias en el interior del organismo como la glucosa o el cortisol (ver Fig. 2.9), presentes en estado sólido, líquido y gaseoso, y como estas presentan modificaciones temporales, las cuales permiten identificar como los diferentes procesos conocidos, tanto fisiológicos como fisiopatológicos, alteran las mediciones de estas sustancias en el organismo, pudiendo generar medidas para amortiguar los cambios generados por diversas patologías.

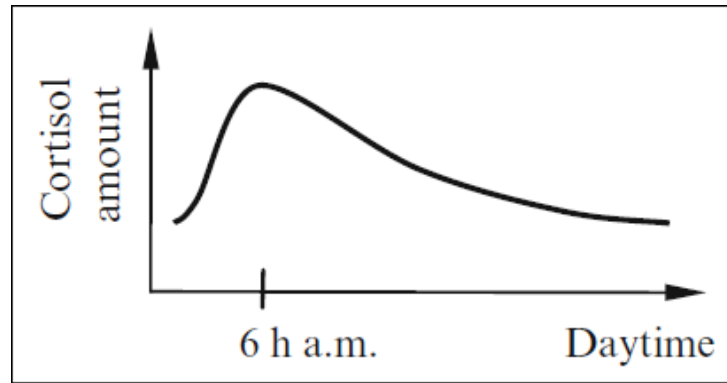


Fig. 2.9 Concentración de Cortisol

A. *Concentración de Dióxido de Carbono*

Dato clínico utilizado como índice para evaluar el estado de la función pulmonar y renal, sistemas encargados de mantener los niveles normales. Esta información es obtenida a partir de pruebas de electrolitos y metabólicas básicas, que se realizan a una muestra de sangre.

B. *Concentración de Glucosa*

Información utilizada para estratificar los distintos niveles de azúcar en la sangre, lo que en condiciones normales se mantiene dentro de valores estrechos, con variaciones considerables debido a procesos conocidos, como la ingesta de alimentos y el ayuno. Sin embargo, existen patologías como la Diabetes, que se caracterizan por presentar niveles más altos, lo que acarrea problemas en los pequeños vasos del organismo, y por lo cual es necesario un constante control de esta variable.

2.2.7 Señales Bioópticas

Estas señales se obtienen a partir de la capacidad, propia o inducida, de los sistemas biológicos para absorber, generar o dispersar la luz. La información fisiológica, puede obtenerse desde variadas fuentes, como por ejemplo, la fluorescencia el líquido amniótico del feto en gestación dentro del vientre materno o la oxigenación sanguínea, la que puede obtenerse a partir de la relación existente entre la luz transmitida y reflejada por los tejidos a distintas longitudes de onda.

A. *Optoplethysmografía*

Técnica que utiliza el cambio de absorción, reflexión y dispersión de la luz, para medir cambios de volumen, pudiendo detectar obstrucciones de venas y arterias, con el fin de evaluar el resultado de cirugías de reconstrucción vascular al ser utilizado en las extremidades, ya que de esta manera puede reconocerse el ciclo de flujo de sangre proveniente o en camino al corazón (ver Fig. 2.10).

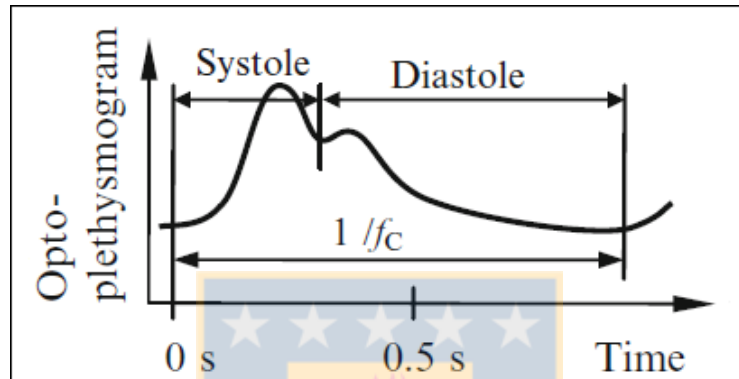


Fig. 2.10 Optoplethysmograma

Diferentes equipos, que son capaces de adquirir y procesar estas señales, se encuentran disponibles como dispositivos aislados o como servicios integrados que permiten un monitoreo remoto y continuo del estado de salud de los pacientes. Con estos avances, se logra que los usuarios que presenten mayor probabilidad de presentar eventos adversos para su salud puedan gatillar alertas automáticas, incluso antes de que estas ocurran, otorgando a los sistemas de salud nueva e importante información para abordar estas situaciones, además de una mayor cantidad de tiempo para su reacción.

Capítulo 3. Materiales y Métodos

3.1. Sistemas Prehospitalarios

Los sistemas prehospitalario, son aquellos que están orientados a brindar cuidado a las personas de una comunidad, y que en la actualidad, comprenden todos los procesos y procedimientos que se realizan entre el momento en que se comunica, al centro regulador, el evento adverso que amenaza el estado de salud del paciente, hasta la incorporación del afectado al nivel asistencial adecuado. Este nivel de atención, cubre las urgencias y emergencias sanitarias que se desarrollan tanto en domicilios como en la vía pública, y además, los traslados de los pacientes crónicos que se someten, de forma habitual, a tratamientos continuos que comprometen tanto su estado de salud inmediato, como su sensación de bienestar (ej. procedimientos de hemodiálisis).

En la literatura y la práctica, existen y se contraponen dos enfoques que determinan los procedimientos que se desarrollan en un proceso de medicina prehospitalaria. Por un lado, podemos encontrar la estrategia proveniente de Estados Unidos, y denominada “*Scoop and run*”, la cual se basa en el traslado inmediato del paciente a un centro hospitalario, lo que implica que en el lugar del evento adverso se realiza las actividades mínimas [46]. Este enfoque, simplifica la asignación de recursos necesarios para las intervenciones, ya que promueven un sistema de despacho de ambulancias a todo llamado, lo que elimina el proceso de categorización y calificación de las urgencias. Por otro lado, la estrategia que se desarrolla en algunos países europeos como Francia, y denominada “*Stay and play*”, en donde las intervenciones en terreno son más amplias y busca la estabilización del paciente es realizada antes de evaluarlo [46]. Este enfoque, se caracteriza por que los recursos destinados a cada solicitud de asistencia son adaptados a las necesidades, regulando las urgencias y estableciendo niveles de compromiso vital.

El modelo chileno, conocido como SAMU (acrónimo de Servicio de Atención Médica de Urgencia), es un sistema mixto que comprende reanimación avanzada, estabilización anatómica y fisiológica, y transporte al centro adecuado; y que está compuesto por médicos, enfermeras y paramédicos con formación en reanimación.

3.2. Sistema Tradicional de Gestión de Alarmas Médicas

En la actualidad, comparten la oferta de cuidado prehospitalario, servicios tanto públicos como privados, ambos debidamente reglamentados, ya que deben solicitar y aprobar la respectiva fiscalización para obtener su autorización de funcionamiento.

El SAMU, es una institución orientada a responder a los requerimientos de atención de urgencia de la población, organizando en su funcionamiento deberes en el área intrahospitalaria y extrahospitalaria, garantizando que la variable tiempo, considerada crítica, sea optimizada. Este servicio, está regulado por la Norma General Técnica N° 17, sobre Sistema de Atención Médica de Urgencia, y define:

- La atención debe ser las 24 horas del día, en horario hábil e inhábil.
- Dirigido por sectores, deben asegurar su disponibilidad contando con el personal, las dependencias, los medios de transporte y los equipos adecuados, además de una red de comunicación que asegure cobertura y operatividad de forma permanente.
- Debe estar inserto con la organización de la Red Asistencial y todo el territorio de su jurisdicción.

Dicha norma, también presenta una serie de definiciones para la comprensión del proceso de atención prehospitalaria:

- Urgencia: problema de salud en el cual existe, por parte de la población, la percepción de que la atención a su problema no puede ser pospuesta.
- Emergencia: problema de salud cuya atención no es postergable, de acuerdo con la definición que de esta hace el equipo médico sobre la base de la aplicación de criterios clínicos.
- Reanimador: profesional universitario del área de la salud, capacitado en atención prehospitalaria avanzada, que se desempeña en un móvil avanzado o en un Centro Regulador, pudiendo ser enfermero, matrón o kinesiólogo.
- Conductor: encargado de manejar el móvil, debe contar con conocimiento de atención prehospitalaria.
- Operador Radial: encargado de recepcionar la llamada de alarma y realizar el interrogatorio inicial, además puede activar el proceso encabezado por un móvil básico.

- Médico Regulador: profesional universitario encargado de supervisar el Centro Regulador, además de atender casos de emergencia avanzada, dando consejo médico, apoyo técnico, designando recursos y decidiendo destino del paciente.
- Técnico Paramédico: profesional del área de la salud encargado del apoyo en una urgencia avanzada o encabezando el proceso de un móvil básico.
- Reanimación Cardiopulmonar Básica (RCP): conjunto de maniobras coordinadas y secuenciales que tienen como propósito soportar y recuperar las funciones circulatorias y ventilatorias; incluye permeabilización no invasiva de la vía aérea, asistencia ventilatoria y masaje cardíaco.
- Reanimación Cardiopulmonar Avanzada: conjunto de maniobras complementarias a la RCP básica, que incorporan el manejo de alta complejidad con el fin de obtener una recuperación de la perfusión tisular y del ritmo cardíaco. Comprende acciones como el manejo invasivo de la vía aérea, acceso vascular, soporte farmacológico, monitorización y/o desfibrilación.
- Evaluación Primaria: método de evaluación y manejo cuyo objetivo es establecer un panorama global del estado respiratorio, hemodinámico y neurológico del paciente. Se realiza en forma rápida a través de un esquema jerarquizado y sistemático (ABC).
- Evaluación Secundaria: exploración sistemática de cabeza a pies de una persona en busca de lesiones, fracturas, etc. Esta evaluación es complementaria a la evaluación primaria secuencial y se realiza a continuación de ésta.

- Centro Regulador: es la instancia que recibe, analiza y orienta la resolución de las llamadas de solicitud de atención de urgencia a través del despacho de móviles o del consejo telefónico, de acuerdo a la complejidad de los pacientes, además de dar el soporte técnico a los equipos de intervención en terreno. El recurso humano, debe comprender médicos capacitados y profesionales reanimadores, operadores telefónicos y/o radiales.
- Base: es la unidad operativa del Centro Regulador, corresponde a la planta física que acoge a los móviles y a su tripulación. Debe contar, como requerimientos básicos, un enlace radial y telefónico con el Centro Regulador, con los móviles y con las otras bases, y al menos un móvil y un equipo radial.

- Ambulancia Básica (M1): móvil destinado al transporte de pacientes que no tiene compromiso vital, con escasa o nula potencialidad de agravación. Por lo tanto, el equipamiento de esta ambulancia no necesita ser complejo y el requerimiento está dado por lo necesario para asegurar a posición del paciente y algún elemento de ayuda básica. Dentro de éstos se contemplan elementos de inmovilización, extracción y manejo no invasivo de la vía aérea. Su tripulación considera un conductor y un técnico paramédico, ambos debidamente capacitados en atención prehospitalaria.
- Ambulancia Avanzada (M2 o M3): móvil destinado al transporte de pacientes con compromiso vital, que pueden o no estar inestables. El equipamiento de esta ambulancia incluye, además de los especificados en M1, elementos necesarios para apoyar un procedimiento de RCP avanzado. Su tripulación cuenta con tres personas, un conductor acompañado de dos reanimadores, o de un técnico paramédico con un reanimador o médico.

En el proceso de atención prehospitalaria, se deben desarrollar, por norma, las etapas que se observan en Fig. 3.1, y que son detalladas a continuación:

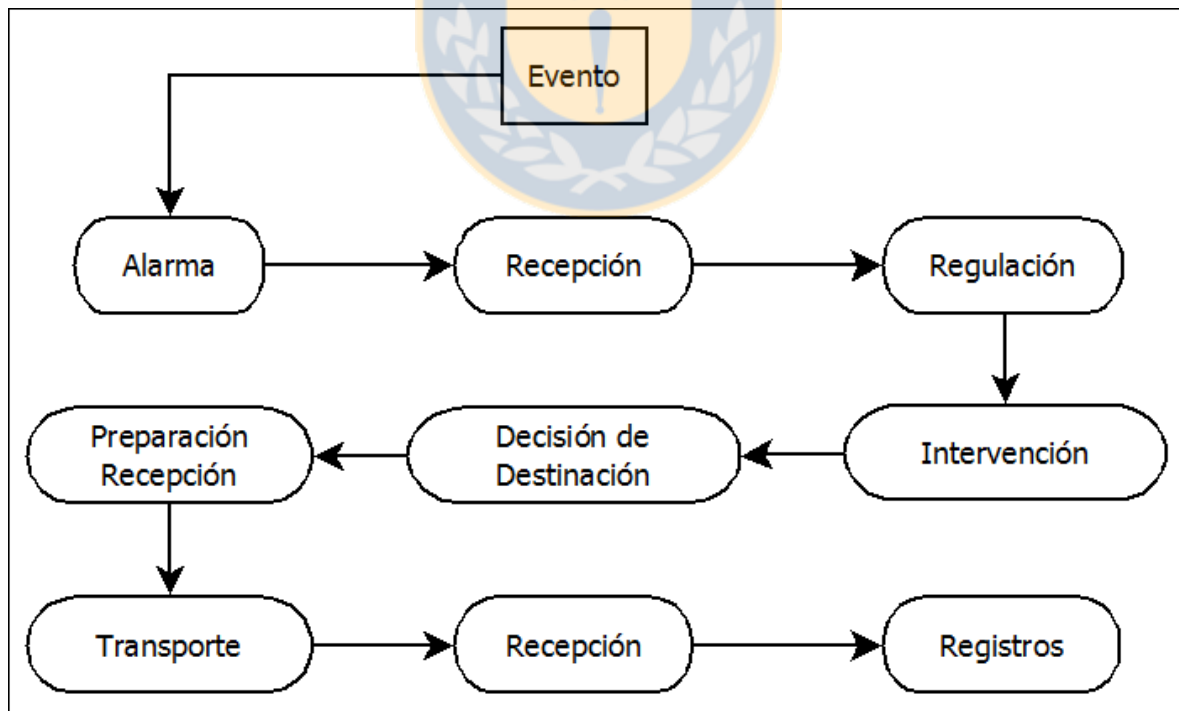


Fig. 3.1 Diagrama de Flujo de las etapas de la Atención Prehospitalaria en Chile (Fuente: Norma General Técnica N°17 sobre Atención Médica de Urgencia.)

Es importante destacar que cada etapa es crucial para el funcionamiento del proceso actual, por lo que no tratarlas como tal puede llevar al fallo de todo el sistema.

1. Alarma: importante para una respuesta hospitalaria rápida. Ésta es entregada por un testigo, el cual puede ser ordinario, privilegiado o profesional.
2. Recepción: con el fin de que la alerta sea captada de manera óptima, la recepción debe ser Centralizada a un Número Único gratuito, de 3 o menos cifras y de funcionamiento permanente. Para esto último existen funciones de la recepción: Validación del llamado, Captura de Información del Llamado y Transferencia Coordinada al Médico Regulador.
3. Regulación: etapa de análisis del llamado, realizado por el Médico Regulador, quien determina el curso de acción pertinente a la situación acogida. Como respuesta puede ser una orientación e información médica o envío de ambulancia básica o avanzada.
4. Intervención: constituye 3 actividades. En primer lugar la Evaluación de la Escena, refiriéndose a la seguridad del personal y luego del paciente/espectadores. Luego la Evaluación Primaria y Reanimación, alusión a la valoración rápida y precisa del paciente priorizando las acciones de acuerdo a sus necesidades. Por último la Evaluación Secundaria, buscando otras lesiones en una evaluación cefalocaudal.
5. Decisión de Destinación: luego de la valoración y la intervención realizada en la escena, radialmente se comunica al regulador para informar la clínica del paciente. Esto es recibido por el Médico Regulador quien decide el traslado final más pertinente.
6. Preparación a la Recepción: el lugar de destino del paciente debe estar implementado de acuerdo a las necesidades y gravedad encontradas, para ello el Médico Regulador debe comunicarse antes con la Unidad Receptora a modo de preparación de la llegada.
7. Transporte: es relevante tomar en cuenta el estrés provocado al paciente durante el traslado que se suma al estado alterado ya existente (ej. mareos, ruidos, entre otros.)
8. Recepción: un punto importante es la Institución Sanitaria encargada de la recepción del paciente. Todo manejo prehospitalario puede verse perjudicado si el lugar de llegada del paciente no posee los recursos adecuados y pertinentes al estado del paciente.
9. Registro: última etapa y un proceso no menor es la documentación de las acciones sanitarias, como son los hallazgos, tratamientos y evolución del paciente. Esto permite obtener referencias, medir respuestas y realizar retroalimentación pertinente. Además, esto conforma un documento médico legal de respaldo a la acción sanitaria.

3.2.1 Caso de Estudio: Centro Regulador Hospital Clínico Regional Dr. Guillermo Grant Benavente

En las dependencias del Hospital Clínico Regional Dr. Guillermo Grant Benavente (HGGB) de Concepción, se encuentra en continuo funcionamiento el Centro Regulador Zona Costa, cuya jurisdicción sanitaria abarca los Servicios de Salud Concepción, Talcahuano y Arauco, que atienden a aproximadamente 1.482.131 habitantes, los cuales se distribuyen en densidades variables [47].

- El Centro Regulador Costa, tiene bajo su control y regulación 18 bases, entre las cuales se encuentran:

Concepción	Dichato	Coronel
Talcahuano	Rafael	Santa Juana
Los Cerros	Hualqui	Florida
Hualpén	San Pedro	Cañete
Penco – Lirquén	Chiguayante	Curanilahue
Tomé	Lota	

- La Base Concepción, dispone de un total de 4 ambulancias, de las cuales, una es avanzada y las otras tres son básicas. De los móviles básicos, 1 es básico de traslado y los dos restantes desempeñan su función normal. Un desglose de sus características fundamentales se observa en Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Caracterización Ambulancias SAMU del HGGB.

Tipo	Móvil		Tripulación por Ambulancia		
	Cantidad	Turno	Conductor	Paramédico	Reanimador
Avanzada	1	24 hrs.	1	0	2
Básico Normal	2	24 hrs.	1	2	0
Básico Traslado	1	8 – 17 hrs.	1	2	0

Fuente: HGGB.

- El servicio cuenta con un total de 64 trabajadores, entre profesionales y no profesionales, los cuales desempeñan sus labores en turnos de 8 hrs. entre ellos podemos encontrar:

2 Administrativos	1 Médico Jefe
1 Auxiliar	9 Médicos Reguladores
2 Conductores de Traslado	8 Operadores Radiales
17 Conductores Generales	11 Paramédicos Básicos
1 Enfermera Coordinadora	2 Paramédicos de Traslado
1 Enfermera Supervisora	8 Reanimadores
1 Enfermera Turno AP	

- Para el correcto funcionamiento del servicio, en cada turno debe laborar un mínimo de trabajadores, los cuales son el soporte de los cuidados y la asistencia prehospitalaria. Es así como por turno se debe contar con:

3 Conductores Generales	2 Paramédicos de Traslado (8 –17 hrs.)
1 Conductor de Traslado (8 – 17 hrs.)	2 Operadoras Radiales
1 Médico Regulador	2 Reanimadores
4 Paramédicos Básicos	

- Básicamente se distinguen dos lugares de gestión física, en primer lugar las oficinas, en donde encontramos el trabajo administrativo de médicos, enfermeras y personal de apoyo, las salas de trabajo de las operadoras radiales y las dependencias de espera de reanimadores, paramédicos y conductores; y en segundo lugar el estacionamiento y movilización, en donde se encuentran las ambulancias.
- La comunicación entre la operadora y la tripulación, para la salida de los móviles, se realiza a través de citófonos, mientras que la comunicación entre el Centro Regulador, y las bases o la tripulación de los móviles se realiza mediante radios o celulares institucionales.
- Las ambulancias de este Centro Regulador, están equipadas con Sistema de Posicionamiento Global, lo que sirve para mantener un seguimiento continuo o discreto

del móvil en la ruta, con el fin de mantener un control de las eventualidades y aportar con información georeferencial y de tráfico, para disminuir, en la medida de lo posible, los tiempos de proceso relacionados al traslado, tanto de ida al lugar del evento como de regreso al centro asistencial seleccionado.

- Las llamadas que tienen por fin alertar los eventos, son categorizadas mediante la técnica Triage a través de un cuestionario que se realiza al testigo del evento. Este cuestionario, busca mediante preguntas que se encuentran predefinidas para las diversas situaciones posibles, brindar la información necesaria para priorizar las urgencias de las llamadas. En este caso existen cuatro niveles de prioridad representados por los colores Verde, Amarillo, Rojo y Negro, que describen niveles progresivos de gravedad, en donde el último representa una persona fallecida.
- El SAMU Costa, presenta una serie de claves preconcebidas sobre las cuales se basa el funcionamiento y la comunicación entre los distintos agentes encargados del servicio, las que pueden encontrarse en Anexo A: Claves del SAMU Costa Concepción.

Para la descripción del proceso de atención prehospitalario en el SAMU zona Costa, que se obtuvo a partir del levantamiento del proceso realizado en el HGGB, se utilizará el Diagrama de Secuencia que se observa en Fig. 3.2, con el cual puede explicarse cada entidad del sistema, así como sus labores y relaciones:

- Paciente: entidad por la cual se gatilla la alarma que inicia un proceso de atención prehospitalaria. Además, es la fuente de información que se envía al Centro Regulador.
- Centro Regulador: entidad encargada de recepcionar y filtrar, las llamadas y la información, con el fin de garantizar la necesidad del proceso de atención y optimizar los recursos del servicio. Además, es el encargado de redirigir la llamada de alerta a la Base que considere, sea la mejor opción.
- Base: encargada de enviar un móvil al lugar del evento y realizar recomendaciones tanto al paciente, antes de la llegada del personal clínico; como a la tripulación de la ambulancia, a la que finalmente se le informa el lugar a donde trasladar al paciente.
- Ambulancia: encargada de transportar al personal clínico al lugar del evento, en donde se puede evaluar y controlar o estabilizar la situación, mediante la continua

comunicación con la Base. Además, es el encargado de trasladar al paciente y acompañarlo hasta que sea admitido por el centro hospitalario, para posteriormente quedar libre para una nueva salida.

- Hospital: encargado de recibir y admitir al paciente, para comenzar la asistencia hospitalaria del mismo.

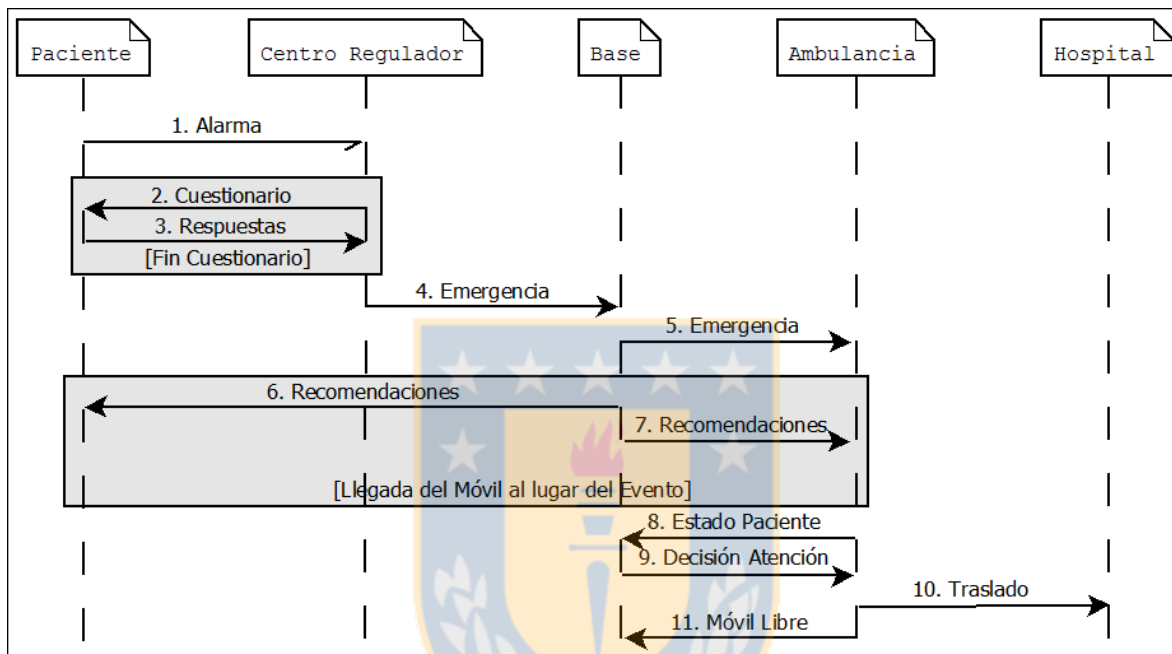


Fig. 3.2 Diagrama de Secuencia de la Atención Prehospitalaria en HGGB. (Fuente: HGGB. Elaboración Propia.)

1.- Mensaje de urgencia, gatillado por la percepción del estado de salud de un paciente, el cual es enviado al Centro Regulador. Se visualiza como asincrónico debido a que la no respuesta, provoca que los afectados busquen otras alternativas de solución.

2.- Como respuesta a la llamada de alarma, el Centro Regulador realiza un cuestionario que permita, en primer lugar, garantizar la veracidad de la urgencia; y en segundo lugar, identificar al paciente y categorizar la emergencia. Catalogado como un mensaje sincrónico, ya que necesita una respuesta para optimizar los recursos, ya que de esta manera se evita una falsa alarma y se prioriza la utilización de los recursos del servicio.

3.- Las repuestas del cuestionario son enviadas al Centro Regulador, con el fin de emitir una señal de alerta, identificando el lugar, el paciente, el evento y su gravedad.

- 4.- La alerta de emergencia es enviada a la Base que corresponda según su jurisdicción, y el lugar en donde se encuentra el paciente. Ésta adjunta los datos recopilados en el cuestionario.
- 5.- La alerta de emergencia es enviada a la Ambulancia que corresponda según su categorización. Ésta adjunta los datos recopilados en el cuestionario.
- 6.- La Base envía recomendaciones al paciente para que éste mantenga un estado de estabilidad, hasta la llegada del móvil.
- 7.- La Base envía recomendaciones al móvil con el fin de planificar los procedimientos a seguir al momento de la llegada al lugar del evento, y de conocer la identidad y restricciones que puede el paciente.
- 8.- La tripulación del móvil, después de realizar las evaluaciones requeridas, informa al médico regulador, en la Base, sobre el estado del paciente para que éste decida los pasos a seguir.
- 9.- Si el paciente se encuentra grave, la tripulación estabiliza al paciente y lo transporta lo antes posible a un centro de salud, continuando con el proceso. Por otro lado, si el paciente no se encuentra grave o se rehúsa a ser trasladado, es tratado en el lugar, finalizando la alerta y pasando a la última etapa de la secuencia.
- 10.- El paciente es trasladado en el móvil hacia el centro de salud indicado por el médico regulador, mientras es monitoreado y tratado para conservar o mejorar su estado de salud.
- 11.- Una vez el paciente es recibido e ingresado en el centro hospitalario, el móvil regresa a la base en un estado libre, para acudir a una nueva emergencia.

3.2.2 Levantamiento de información y análisis de los datos

La información de la sección anterior, que abarca el funcionamiento del servicio y los recursos que lo permiten, se determinó mediante el levantamiento del proceso general que se lleva a cabo en la Base Concepción, para atender a las llamadas de emergencia, y de los procesos que se realizan para dar respuesta a las situaciones excepcionales y eventuales propios de un servicio de atención de urgencia. El análisis del proceso y los recursos involucrados, se realizó mediante la consulta al personal involucrado y participe de los distintos niveles del servicio. Entrevistas realizadas al personal clínico y administrativo que

participan de los procesos, permitió determinar las labores formales, los recursos necesarios, las falencias y las problemáticas detectadas en la unidad, así como diversas situaciones que, aunque no son consideradas, generan un nivel mayor de dificultad al momento de evaluar el servicio.

Para la construcción del modelo de simulación que representara el sistema tradicional de atención prehospitalaria, específicamente, el funcionamiento de la Base Concepción, se utilizó, además del levantamiento de procesos, el análisis de una base de datos propia del servicio, en donde se almacena información referente a los eventos atendidos utilizando los recursos de la Base Concepción. La base de datos contiene las siguientes tipos de columnas, en donde se distribuye la información que permite describir el proceso, cuantificar indicadores y como respaldo de decisiones, al almacenar información histórica del proceso:

- Código Paciente: este ítem, que contiene un número correlativo, es utilizado para llevar un conteo de la cantidad de personas atendidas por el servicio y se crea con la finalidad de contar con un identificador que permita agrupar la información adquirida en el centro hospitalario por la operadora y el médico regulador, y la recolectada por la tripulación del móvil en el lugar de emergencia, para finalmente ingresarla, en conjunto al sistema, para generar las entradas de la base de datos.
- Día y Mes del Evento: ítem que almacena la fecha sólo como los número que la representan, sin incluir el año, debido a que el cambio de éste genera la creación de un nuevo archivo para ampliar la base de datos. Esta información es necesaria para ubicar temporalmente los distintos sucesos a los que debe concurrir los móviles del servicio, y cumple con la finalidad de ser un dato de importancia para realizar análisis estadísticos del servicio, y generar diferentes indicadores que permiten evaluar el funcionamiento, la demanda, las tendencias, entre otros factores, para comparar los distintos servicios que alberga la red asistencial y promover los procesos y herramientas que impliquen mayores beneficios para los usuarios, así como erradicar las problemáticas del mismo.

- Personal involucrado en el Evento: con el fin de llevar un registro histórico del personal que concurre e interviene en cada suceso, son almacenados los nombres del conductor, reanimadores y personal clínico, con el fin de identificar a los responsables que conforman la tripulación del móvil frente a cada respuesta.
- Paciente: ítem general, en el cual se almacenan distintos datos del paciente, con el fin de identificarlo para buscar y acceder a su ficha clínica, conocer opciones de traslado, y poder comunicar del suceso a familiares. Entre estos datos, podemos encontrar: nombre y RUT de la víctima, así como su edad, domicilio, teléfono y previsión. Es importante señalar, que no es posible acceder a esta información, debido a las normativas vigentes asociadas a la confidencialidad de los datos.
- Datos Clínicos del Paciente: ítem de interés clínico, que almacena información referente a enfermedades preexistentes, medicamentos y alergias, con el fin de respaldar las decisiones que son tomadas por el personal clínico durante los procedimientos prehospitalarios.
- Caracterización Inicial del Evento: ítem que almacena clasificación del tipo de Urgencia (ver Anexo A) y el Triage Inicial, obtenida a partir del cuestionario realizado por la operadora radial y el médico regulador, esta información es necesaria para determinar los procedimientos a seguir y los recursos a utilizar para abordar la urgencia
- Caracterización Final del Evento: ítem que almacena la clasificación del tipo de Urgencia (ver Anexo A) y el Triage Final que el personal de la tripulación del móvil determina a partir de la observación del paciente en el lugar.
- Solicitud móvil de Apoyo: para evaluar la demanda del servicio y la complejidad de las urgencias, se almacena en este ítem, las entradas que representan llamadas de urgencias a las cuales fue necesario enviar un móvil de apoyo para enfrentar la eventualidad.
- Destino del Traslado: en este ítem se almacena la información relacionada al lugar a donde cada paciente es trasladado por el móvil. Decidido por el médico regulador de la base, se selecciona el lugar de traslado de acuerdo a la distancia al centro hospitalario más cercano.

- Diagnóstico: almacena la causa del evento, determinada por la tripulación del móvil al evaluar la situación en el lugar de la emergencia. Esta información permite determinar los procedimientos a realizar al paciente, con el fin de estabilizar su situación y eventualmente trasladar al paciente.
- Horas de Llamadas: la base de datos almacena el dato temporal, en formato de hora (hh:mm), el momento en que cada subproceso comienza. Cada entrada contiene seis columnas distintas que representan subprocesos correlativos, entre los que encontramos:
 - QTR Llamado: registrado por la operadora, almacena el momento en que la operadora recibe el llamado de urgencia y comienza con el cuestionario y la validación de la llamada. La diferencia entre dos entradas consecutivas, entrega la información necesaria para calcular la distribución de tiempos entre llamadas.
 - QTR Despacho: registrado por un integrante de la tripulación, almacena el momento en que comienza la preparación de la ambulancia y la tripulación. La diferencia entre este ítem y QTR Llamado, entrega la información necesaria para obtener el tiempo que toma a la operadora recibir la llamada, realizar el cuestionario al testigo, validar la llamada y seleccionar el móvil y la tripulación que asistirá a la emergencia, el que, para esta investigación se denomina “Tiempo de Operadora” o “T1”.
 - QTR Salida: registrado por un integrante de la tripulación, almacena el momento en que el móvil sale de la Base Concepción rumbo al lugar de la emergencia. La diferencia entre este ítem y QTR Despacho entrega la información necesaria para obtener el tiempo que toma preparar la ambulancia y a la tripulación, denominado en esta investigación como “Tiempo de Despacho” o “T2”.
 - QTR Llegada: registrado por un integrante de la tripulación, almacena el momento en que el móvil arriba al lugar de la emergencia. La diferencia entre este ítem y QTR Salida entrega la información necesaria para obtener el tiempo que demorara la ambulancia en llegar al lugar de la emergencia, denominado en esta investigación como “Tiempo de Traslado 1” o “T3”.
 - QTR Retiro: registrado por el personal de la tripulación, almacena el momento en que el personal, posterior a realizar los procedimientos clínicos al paciente, se

retira con o sin el paciente, para ser trasladado al centro asistencia. La diferencia entre este ítem y QTR Llegada entrega la información necesaria para obtener el tiempo que tarda la tripulación en analizar y estabilizar al paciente, denominado en esta investigación como “Tiempo de Estabilización” o “T4”.

- QTR SU: registrado por el personal de la tripulación, almacena el momento en que la ambulancia ingresa al centro asistencial seleccionado por el médico regulador. La diferencia entre este ítem y QTR Retiro entrega la información necesaria para obtener el tiempo que demorara la ambulancia en trasladarse desde el lugar de la emergencia al centro hospitalario, denominado en esta investigación como “Tiempo de Traslado 2” o “T5”.
 - QTR 420: registrado por el personal de la tripulación, almacena el momento en que la ambulancia deja al paciente en el centro hospitalario, finalizando así con el proceso de atención prehospitalaria. La diferencia entre este ítem y QTR SU entrega la información necesaria para obtener el tiempo que demorara el ingreso del paciente al hospital, “Tiempo de Recepción” o “T6”.
- Receptor: en esta columna se almacena al profesional que realiza el ingreso del paciente al hospital, marcando el momento en que finaliza el proceso de atención prehospitalaria y comienza el proceso hospitalario.

La base de datos utilizada, y que almacena los registros históricos de los procesos prehospitalarios realizados durante enero y diciembre del año 2013 en la Base Concepción, presenta una serie de problemas que dificultan la obtención de indicadores, lo que se debe principalmente a dos causales. En primer lugar, el ingreso y la obtención manual de datos generan deficiencias en la información, entre las cuales se encuentran:

- No todos los registros son ingresados en sus respectivos casilleros, es así como una gran cantidad de entradas (que representan atención prehospitalarias distintas) deben ser eliminados al no contener toda la información necesaria que permita calcular sus tiempos de procesos.
- Los tiempos de procesos no se encuentran correlativos, ya que dentro de una misma entrada podemos encontrar que algunos subprocesos comienzan antes de que el subproceso que lo antecede termine.

- Muchas entradas presentan tiempos de subprocesos que presentan un desarrollo de cero minutos, lo que puede deberse a la resolución temporal, al no discriminar a un nivel de segundos o a la desincronización de elementos (relojes), ya que la adquisición de este parámetro es distribuida, y por ende son captados con elementos distintos.
- Ciertas entradas presentan tiempos de procesos, atópicos
- Existen entradas duplicadas y triplicadas, lo que dificulta el cálculo de las distribuciones de probabilidades, lo que repercute en la obtención de los tiempos de procesos.

En segundo lugar la base de datos está construida para ser usada como herramienta de almacenamiento de datos, y no como una fuente de obtención de información, que permita obtener de forma más simple, evaluación de indicadores, tendencias y características que permitan mejorar los procesos relacionados al servicio.

Para ajustar distribuciones de probabilidad a la información del proceso de atención prehospitalaria, que se encuentra en la base de datos anteriormente descrita, se filtraron los datos para eliminar datos erróneos y las situaciones puntuales, que determinaban situaciones atípicas que modificaban los resultados del análisis.

Se analizan los datos de la base de datos, mostrando en primer lugar la categorización de llamadas realizadas, y como estas se distribuyen en los diferentes meses del funcionamiento de servicio de atención prehospitalaria, como se muestra en Tabla 3.2 y Tabla 3.3:

:

Tabla 3.2 Distribución de Tipos de Llamadas al SAMU zona Costa (1)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Bás. Clínicas	320	250	276	296	340	292
Bás. Accidentes	386	288	441	439	359	369
Avan. Clínicas	17	13	12	18	23	23
Avan. Accidentes	118	77	107	121	140	125

Fuente: HGGB. Elaboración Propia

Tabla 3.3 Distribución de Tipos de Llamadas al SAMU zona Costa (2)

	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Bás. Clínicas	311	319	325	314	275	351
Bás. Accidentes	400	330	344	393	282	368
Avan. Clínicas	14	18	21	9	19	18
Avan. Accidentes	112	126	107	139	108	137

Fuente: HGGB. Elaboración Propia.

Estos se muestran de forma gráfica en Fig. 3.3, en donde se observan de forma visual que, si bien las relaciones de los tipos de llamadas se modifican mediante el transcurso de los meses, el volumen de llamadas de cada tipo se mantiene en un orden inalterable, mostrando una mayor cantidad de llamadas Básicas Clínicas y una menor cantidad de Avanzadas Clínicas.

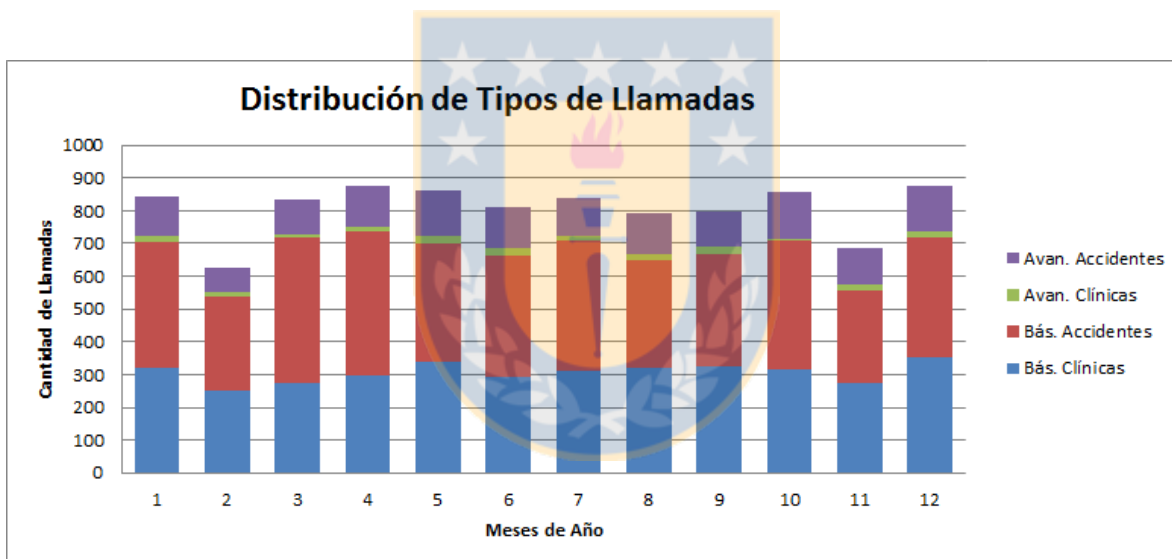


Fig. 3.3 Distribución de Tipos de Llamadas (Fuente: HGGB. Elaboración Propia.)

Para estos datos se calculó el tiempo entre llamadas, los cuales se importaron por el *Software Student Arena 14.5*, el cual mediante la herramienta *Input Analyser*, el cual entrega la información necesaria para validar las distribuciones. Para esto, se utilizó la prueba de hipótesis Chi-Cuadrado, la cual, mediante su evaluación permite determinar la aceptación de una hipótesis.

Para lograr este análisis, se deben seguir los siguientes pasos:

- Realizar una conjetura que se busca validar.
- Determinar las hipótesis, tanto nula como alternativa.
- Calcular X^2_{calc} .
- Determinar p y el grado de libertad
- Obtener, para los resultados anteriores, el valor crítico.
- Comparar X^2_{calc} y el valor crítico, e interpretar los resultados.

Input Analyser, nos entrega el valor correspondiente de grados de libertad, el valor de la prueba estadística y su correspondiente p-value, donde este último se evalúa al ser más exacto que el valor de Chi-Cuadrado. Para esto se trabajó con un nivel de significación de 0.05, por lo tanto un p-value > 0.05, demuestra que la hipótesis no puede ser rechazada.

Tabla 3.4 Validación Tiempo entre Llamadas SAMU zona Costa

Variable	p-value
Tiempo entre Llamadas:	
Bás. Clínicas	0.1053
Bás. Accidentes	0.0635
Avan. Clínicas	0.0839
Avan. Accidentes	0.1229

Fuente: HGGB. Elaboración Propia.

De acuerdo las gráficas de Tiempo entre Llamadas, observadas en Anexo B, cada una se ajusta a una determinada distribución de probabilidad, y como se muestra en Tabla 3.4, con los resultados calculados por el *Software* anteriormente señalado, se comprueba la hipótesis nula, logrando concluir que puede utilizarse la distribución respectiva.

Además, para estos casos, se estimó los límites de promedio poblacional, mediante el cálculo de un intervalo de confianza, con un nivel de significancia del 5%, para lo cual se utilizó Fórmula 1:

$$\bar{X} - 1.96 * \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + 1.96 * \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Tabla 3.5 Intervalos de Confianza para el Promedio (5% de Significancia)

Variable	Intervalo de Confianza (min)
Tiempo entre Llamadas:	
Bás. Clínicas	125,5 – 142,1
Bás. Accidentes	112,3 – 124,6
Avan. Clínicas	2487,3 – 2889,2
Avan. Accidentes	341,5 – 377,7

Fuente: Elaboración Propia.

Con esto se determina que, el 95% de los Tiempos entre Llamadas se encuentran dentro de los intervalos mostrados en Tabla 3.5.

Este análisis también se realizó para cada uno de los tiempos de proceso que se derivan del levantamiento del Servicio de Atención Prehospitalaria, ajustando la distribución de probabilidad que representan de T1 a T6, cuyo p-value se muestra en Tabla 3.6. Para estos también se calcularon los Intervalos de Confianza (*) que se muestran en Tabla 3.7:

Tabla 3.6 Validación Tiempo de Procesos de SAMU zona Costa

Proceso	Variable		Proceso	Variable	
	Tiempo entre Llamadas:	p-value		Tiempo entre Llamadas:	p-value
T1	Bás. Clínicas	0,373	T4	Bás. Clínicas	0,175
	Bás. Accidentes	0,575		Bás. Accidentes	0,548
	Avan. Clínicas	0,382		Avan. Clínicas	0,263
	Avan. Accidentes	0,282		Avan. Accidentes	0,280
T2	Bás. Clínicas	0,156	T5	Bás. Clínicas	0,457
	Bás. Accidentes	0,451		Bás. Accidentes	0,475
	Avan. Clínicas	0,349		Avan. Clínicas	0,164
	Avan. Accidentes	0,427		Avan. Accidentes	0,452
T3	Bás. Clínicas	0,276	T6	Bás. Clínicas	0,563
	Bás. Accidentes	0,140		Bás. Accidentes	0,285
	Avan. Clínicas	0,378		Avan. Clínicas	0,537
	Avan. Accidentes	0,211		Avan. Accidentes	0,134

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.7 Intervalos de Confianza para Procesos SAMU zona Costa

Proceso	Variable	*	Proceso	Variable	*
T1	Bás. Clínicas	10,6-16,9	T4	Bás. Clínicas	6,4-16,3
	Bás. Accidentes	12,5-20,3		Bás. Accidentes	5,8-17,5
	Avan. Clínicas	1,4-5,4		Avan. Clínicas	12,3-21,9
	Avan. Accidentes	7,2-13,5		Avan. Accidentes	9,7-18,3
T2	Bás. Clínicas	0,5-3,2	T5	Bás. Clínicas	8,1-19,3
	Bás. Accidentes	3,1-7,4		Bás. Accidentes	6,1-13,8
	Avan. Clínicas	0,2-4,1		Avan. Clínicas	5,4-14,1
T3	Avan. Accidentes	1,3-5,8	T6	Avan. Accidentes	12,7-21,5
	Bás. Clínicas	7,1-15,4		Bás. Clínicas	12,8-22,7
	Bás. Accidentes	5,3-13,9		Bás. Accidentes	11,3-20,9
	Avan. Clínicas	2,1-10,5		Avan. Clínicas	13,5-20,8
	Avan. Accidentes	7,5-17,8		Avan. Accidentes	14,6-24,2

Fuente: Elaboración Propia.

De los valores de p-value, mostrados en Tabla 3.6, se concluye que no existe información suficiente para rechazar la distribución de probabilidades respectiva, y que se muestra de forma gráfica en Anexo B, con lo que se valida su utilización para alimentar el modelo de simulación.

Además, en Tabla 3.7, se muestra el intervalo de confianza para los promedios de Tiempos de Procesos obtenidos de la muestra extraída de la base de datos, los que fueron calculados con un nivel de significancia del 5%.

3.2.3 Simulación Caso de Estudio

A. Determinar Número de Replicas para el Modelo de Simulación

Con el fin de determinar el número de réplicas necesarias para validar los resultados de la simulación, se utilizó Fórmula 2 [48].

$$R \geq \left(\frac{Z_{\alpha} * S_0}{\varepsilon} \right)^2 \quad (2)$$

Para la obtención del número de réplicas necesarias que logre estabilizar los resultados obtenido de la simulación, en primer lugar se debe asumir una semilla inicial R_0 . Esta muestra inicial de réplicas independientes, será utilizada para calcular los demás parámetros:

- R_0 : cantidad inicial de réplicas realizadas (15).
- \bar{x} : promedio de pacientes atendidos en las replicaciones iniciales
- S_0 : desviación estándar de las R_0 réplicas iniciales realizadas.
- ε : $(0.04\% * \bar{x})$, esto, ya que se consideró un error máximo de un 5% para cada ítem.
- El nivel de confianza es $1 - \alpha = 0.95$, teniendo un $Z_{\alpha/2} = 1.96$
- R : cantidad de réplicas necesarias para cumplir con la ecuación.

Para nuestro cálculo, se utilizaron y calcularon los valores mostrados en Tabla 3.8, que se observa a continuación:

Tabla 3.8 Valores para determinar Número de Réplicas

Ítem	Valor
R_0	15
\bar{x}	9709
S_0	55.7
ε	388.3
$\left(\frac{Z_{\alpha/2} * S_0}{\varepsilon}\right)^2$	0.079
R	1

Fuente: Elaboración Propia.

Con el fin de obtener la evaluación de los indicadores de importancia clínica del SAMU, y que estos puedan ser comparados con los obtenidos del sistema propuesto, la base de datos existente se dividió entre las llamadas que son generadas por patologías que poseen características que permitan ser monitoreadas y las que son generadas por accidentes fortuitos. Con esto como premisa, se determinaron las distribuciones de probabilidad correspondientes a los tiempos de procesos, los que se observan en Tabla 3.9 y Tabla 3.10, y los tiempos entre llamadas, Tabla 3.11, de los datos registrados.

Tabla 3.9 Distribución de Probabilidades de los procesos de SAMU del HGGB.

Tipo	Distribución de Probabilidades		
	T1	T2	T3
Básico Clínico	WEIB(4.08,0.395)	BETA(0.212,7.15)	BETA(2.79,29.3)
Básico Accidente	WEIB(3.91,0.347)	WEIB(1.11,0.268)	WEIB(9.02,1.34)
Avanzado Clínico	LOGN(3.32,5.75)	BETA(0.941,2.75)	GAMM(2.12,3.39)
Avanzado Accidente	WEIB(1.24,0.29)	BETA(0.687,0.334)	WEIB(13.4,0.99)

Fuente: Elaboración Propia.**Tabla 3.10 Distribución de Probabilidades de los procesos de SAMU del HGGB.**

Tipo	Distribución de Probabilidades		
	T4	T5	T6
Básico Clínico	BETA(1.75,12.8)	BETA(2.24,34.3)	EXPO(17.2)
Básico Accidente	BETA(1.95,31.1)	GAMM(9.45,1.15)	EXPO(16.1)
Avanzado Clínico	WEIB(17.9,1.27)	GAMM(5.03,2.24)	EXPO(17.6)
Avanzado Accidente	BETA(1.25,17.6)	BETA(1.68,25,6)	EXPO(19.2)

Fuente: Elaboración Propia.

En donde la referencia que se muestra en las tablas anteriores, presentan la siguiente correlación a los procesos obtenidos del levantamiento del funcionamiento:

- T1: para los cuatro tipos de llamados, esta etapa representa al proceso inicial de servicio, alberga todos los subprocesos y procedimientos que son llevados a cabo en el servicio desde que la operadora contesta una llamada de emergencia, hasta que se designa un móvil, según prioridad, a que asista a la atender la situación, pasando por la toma de datos de la situación y la validación de la llamada. Como se observa en Tabla 3.9, los distintos tipos de llamados, presentan diferentes distribuciones de probabilidad, debido a que los procesos, aunque buscan el mismo resultado, es obtenido con duraciones distintas debido a la prioridad que representan y la criticidad del factor tiempo.
- T2: para los cuatro tipos de llamadas, este proceso consigna la preparación del móvil que concurre al lugar de la emergencia. En este proceso se incluyen la etapa en que se informa a la tripulación que debe concurrir a la emergencia y se le entrega información sobre la urgencia, además, la tripulación debe trasladarse desde las dependencias hasta el móvil para preparar los recursos del mismo para atender a la solicitud de emergencia específica.

- T3: representa el tiempo desde que el móvil sale del centro hospitalario, hasta que llega al lugar del suceso, aunque el lapso de tiempo de esta etapa es difícil de ser manipulado, los funcionarios mantienen contacto con la tripulación del móvil, a través de radio comunicación, con el fin de indicarle la manera más rápida de llegar al lugar del accidente.
- T4: representa el lapso de tiempo en que el móvil llega al lugar del accidente y comienza la evaluación en terreno por parte de la tripulación, la cual evalúa la situación, así como el nivel general y específico del estado de salud y estabilidad del paciente. Durante el tiempo que demora esta labor, pueden ocurrir distintas situaciones que condicionan su prolongación y las etapas posteriores:
 - El paciente puede decidir trasladarse al centro hospitalario por sus propios medios, y de esta forma rechazar el traslado por el móvil, por lo que este queda automáticamente libre.
 - El paciente puede no cumplir los requerimientos mínimos para un traslado, lo que sólo es estabilizado en el lugar. Finalizando este procedimiento, la ambulancia queda libre.
 - La situación evaluada en el lugar presenta características que implican esperar los procedimientos de otras entidades como Carabineros, Bomberos, Servicio Médico Legal, entre otros.
- T5: una vez el paciente es estabilizado, es trasladado al centro médico del nivel adecuado, designado por el médico regulador de acuerdo a consideraciones de distancia. Este centro hospitalario, está informado del arribo, por lo que, toma las medidas necesarias para apresurar el ingreso del paciente a la atención hospitalaria. El traslado, es supervisado desde la Base, con el fin de guiar al móvil por el camino más expedito, y a la tripulación en los procedimientos necesarios para mantener la estabilidad del paciente.
- T6: Si el móvil traslado al paciente al centro médico, al llegar la ambulancia hospital , comienza el último proceso, el cual se basa en registros de ingreso, mediante los cuales la tripulación de móvil traspasa los registros, síntomas y condiciones clínicas observadas al personal clínico que comienza, dentro del centro médico al servicio de atención hospitalaria.

Tabla 3.11 Distribución de Probabilidades del SAMU Costa

Distribución de Probabilidades	
Tipo Llamado	T° entre Llamadas
Básico Clínico	EXPO(143)
Básico Accidente	EXPO(119)
Avanzado Clínico	EXPO(2.57e+003)
Avanzado Accidente	GAMM(353,1.02)

Fuente: Elaboración Propia.

Las etapas detalladas con anterioridad, fueron modeladas y simuladas mediante el *Software, Arena Student 14.5*, en donde, a partir de los distintos módulos de construcción se formuló el recorrido de una atención prehospitalaria durante el tránsito por sus diferentes etapas. Como una medida inicial, se simuló el sistema tradicional de alarmas médicas que se observa en Fig. 3.4. Este Modelo Funcional de la Simulación realizada para la situación actual de la Base Concepción, la cual representa nuestro caso de estudio de un Sistema Tradicional de Gestión de Alarmas Médicas. El modelo se divide en cinco secciones, las cuales se separan por los colores Rojo y Verde Fig. 3.5; Azul Fig. 3.6; Naranja y Morado Fig. 3.7; con el fin de explicar cómo la agrupación de los módulos representa el funcionamiento real del sistema.

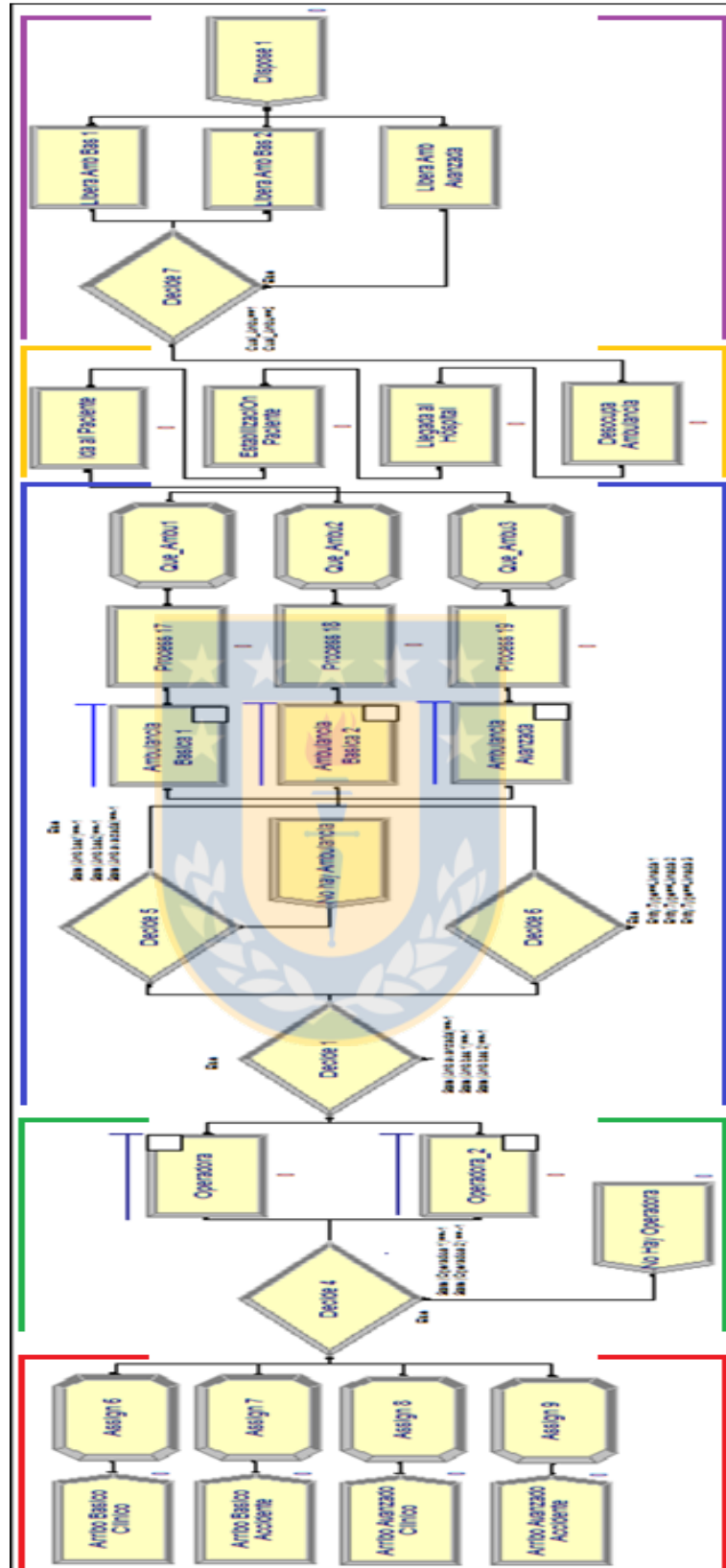


Fig. 3.4 Modelo de Simulación del Sistema Tradicional General (Fuente: Elaboración Propia)

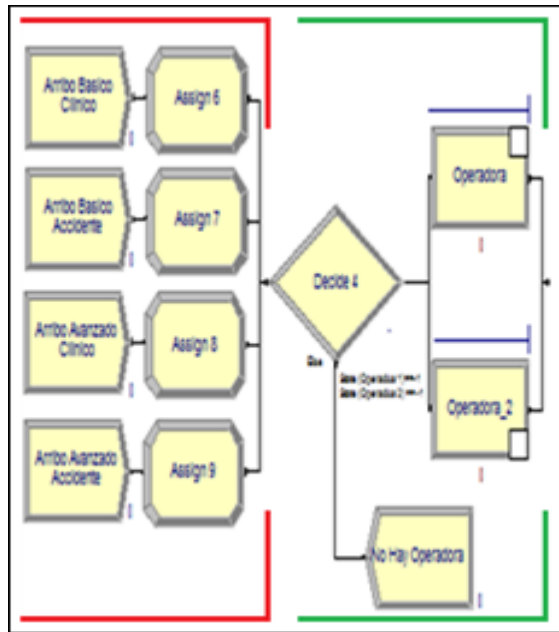


Fig. 3.5 Etapa 1 de la Desagregación del Modelo Tradicional General (Fuente: Elaboración Propia.)

- Rojo: se muestran dos columnas de módulos iguales, en donde la primera, es la encargada de crear las entradas, que para nuestro caso son las llamadas, a partir de la distribución calculada de los tiempos entre llamadas; y la segunda columna es la encargada de establecer los parámetros, que representan los tiempos de procesos, que correspondan a cada entrada creada. Cada columna presenta cuatro filas, las que se diferencian por crear los cuatro tipos distintos de llamadas, Llamadas Avanzadas Accidente, Llamadas Avanzadas Clínicas, Llamadas Básicas Accidentes, Llamadas Básicas Clínicas.
- Verde: representa el proceso de atención de las llamadas por las operadoras, estos módulos de recursos leen el parámetro de “Tiempo de Operadora”, ya que cada tipo de llamada presenta una distinta distribución de probabilidad. Además, cuando las operadoras se encuentran ocupadas, la llamada se pierde en un módulo de finalización.

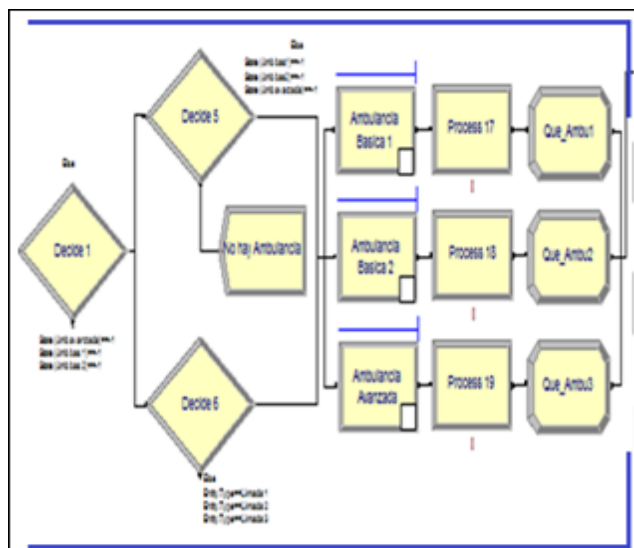


Fig. 3.6 Etapa 2 de la Desagregación del Modelo Tradicional General (Fuente: Elaboración Propia.)

- Azul: representa el proceso de asignación de las tres ambulancias presentes en la Base Concepción, según tipo (ambulancia básica y avanzada) y eliminan la llamada cuando las ambulancias se encuentran ocupadas. Además, en esta etapa se realizan los subprocesos que los tripulantes deben efectuar antes de salir a la emergencia, lo que se denomina “Tiempo de Despacho”.



Fig. 3.7 Etapa 3 de la Desagregación del Modelo Tradicional General (Fuente: Elaboración Propia.)

- Naranja: se muestran los demás procesos que se llevan a cabo en el servicio prehospitalario, en donde sus tiempos de procesos se denominan “Tiempo de Traslado 1 y 2”, “Tiempo de Estabilización” y “Tiempo de Recepción”.
- Morado: muestra la finalización del proceso, la cual se crea para determinar cómo las ambulancias, de ambos tipos, pasan a ser nuevamente recursos libres al terminar el servicio prehospitalario que se realiza para atender una llamada de emergencia.

Los resultados obtenidos a partir de este modelo y alimentada de la información rescatada a través del análisis de la base de datos proporcionada por el HGGB, se observan en el Capítulo 4 de este documento. Para un paso siguiente se realizó una simplificación del sistema tradicional, el que se observa en Fig. 3.25 y una propuesta del modelo planteado basado en Holons, el que se observa en Fig. 3.26. Ambos modelos son alimentados a partir de la información utilizada y validada en el modelo de la simulación anteriormente descrito, y cuyo detalle se muestra en la sección de resultados.

3.3. Gestión de Alarmas Médicas basado en Sistema Holónico

Con el objetivo de disminuir los tiempos de respuesta, la ocupación del personal y las imprecisiones propias de procesos manuales, se propone modificar el actual enfoque de la logística en el Servicio de Atención Médica de Urgencia del HGGB, con el fin de automatizar los procesos mediante la sustitución del Sistema Tradicional de Gestión de Alarmas Médicas, por un Sistema Holónico que promueva la cooperación y la inteligencia holárquica. La arquitectura y funcionamiento del sistema propuesto, se explica mediante diagramas UML, para que sus componentes, interacciones y tareas sean comprensibles, por lo tanto, se especifican, construyen y documentan mediante el modelado visual que se muestra en las siguientes imágenes.

El diagrama de clases, Fig. 3.8, busca describir la estructura estática del sistema, por lo que se detalla el funcionamiento de los entes, como es realizado y sus distintas interacciones.

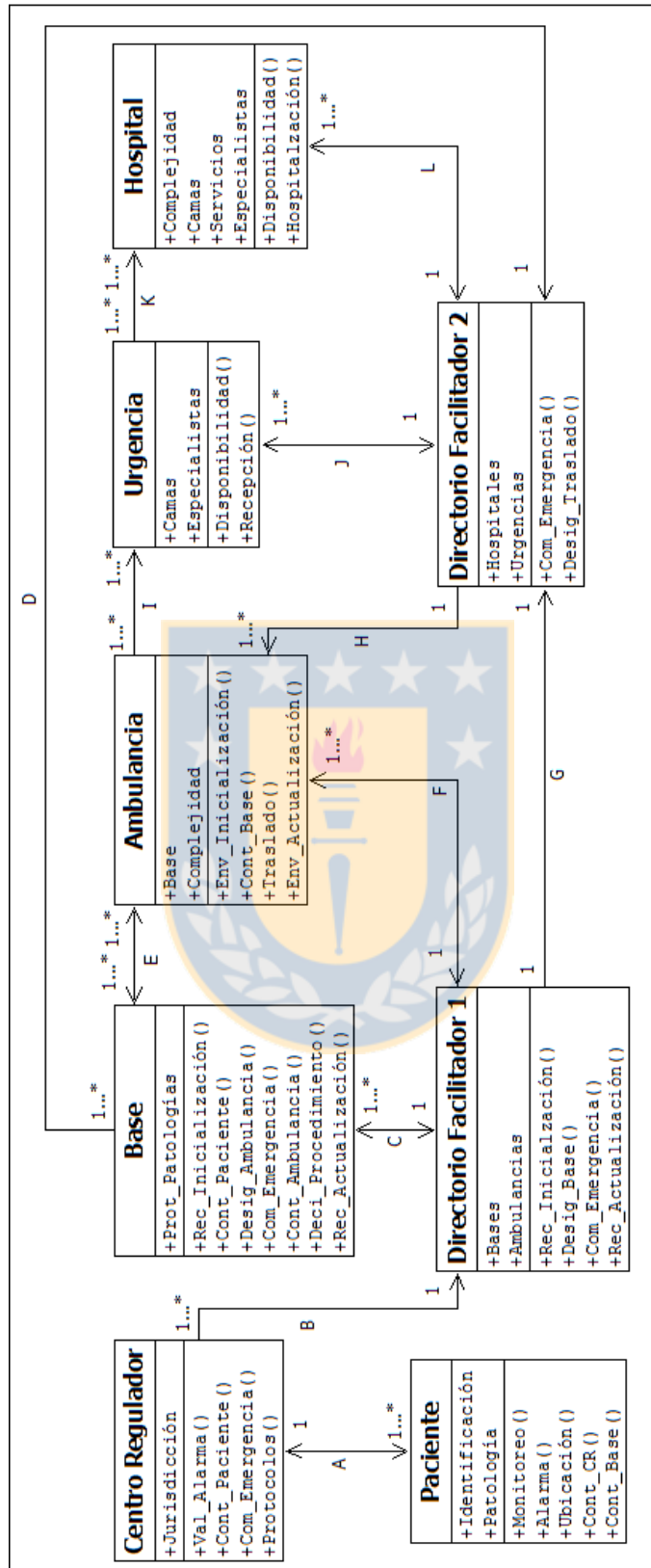


Fig. 3.8 Diagrama de Clases del Sistema Propuesta para la Gestión de Alarmas Médicas (Fuente: Elaboración Propia.)

En las siguientes imágenes, se busca detallar cada uno de los entes que componen este sistema, los que al estar distribuidos, almacenan por separado su información útil y mantienen su interacción a través de comunicación inalámbrica. Sus funciones, son realizadas como respuesta a diversos mensajes autogenerados a partir de información preasignada o adquirida de forma continua o discreta desde diversas fuentes:

Paciente
+Identificación +Patología
+Monitoreo() +Alarma() +Ubicación() +Cont_CR()

Fig. 3.9 Holón Paciente (Fuente: Elaboración Propia.)

- Paciente: compuesto por el usuario del sistema y sensores de signos vitales que monitoreen continuamente las variables fisiológicas del usuario, con el fin de procesarlas y analizarlas para mantener un vigilancia constante de su estado de salud. Estos sensores se encuentran vinculados a un *Smartphone* predefinido, el que además de ser utilizado como una herramienta de procesamiento, permite mantener una base de datos, creada por quien administra el servicio, y que almacena, por un lado, información del usuario, como nombre, RUT y domicilio, con el fin de identificar al paciente y a sus contactos cercanos; y por otro lado información sobre las patologías que presenta el individuo, con el fin de reconocer las manifestaciones de su enfermedad. Entre las funciones que este holón puede desarrollar, además del monitoreo continuo (**Monitoreo()**), encontramos la activación de alarmas (**Alarma()**) que alertan al detectar un evento adverso, las que además de contener información sobre el estado de salud y los parámetros alterados, anexa información sobre la ubicación de paciente (**Ubicación()**), la que es obtenida a través del GPS del *Smartphone*. Este paquete de información, es enviado, a través de comunicación inalámbrica al Centro Regulador (**Cont_CR()**), el cual comienza con sus actividades (ver Fig. 3.9).

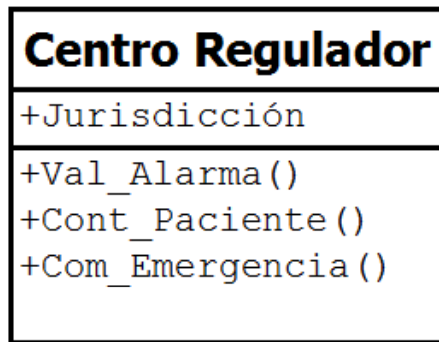


Fig. 3.10 Holón Centro Regulador (Fuente: Elaboración Propia.)

- Centro Regulador: ente de *Software* encargado de recibir la información de urgencias desde Holón Paciente y cuyas labores son realizadas de forma automática, además, cuenta con una base de datos que almacena las jurisdicciones de las bases de urgencia para indicar que SAMU debe ser contactado dependiendo del lugar de la urgencia, información que es anexada al mensaje de alarma. Entre las labores que realiza encontramos la validación de la alarma (**Val_Alarma()**), lo que puede realizarse mediante procesos de análisis de datos, con el fin de transferir sólo las alarmas efectivas y priorizarla según su gravedad. Además, es capaz de enviar recomendaciones al paciente, según sus parámetros afectados y la patología que lo afecta, mientras espera la atención prehospitalaria (**Cont_Paciente()**). Finalmente, validada la alarma, un mensaje de emergencia (**Com_Emergencia()**) que posee información de:

- Identificación del paciente, con el fin de obtener más información a partir de sus datos clínicos.
- Datos clínicos de la emergencia, para determinar los protocolos de procedimientos que se deben realizar al atender al paciente.
- Categorización de gravedad, para determinar qué tipo de ambulancia y tripulación debe asistir a la emergencia.
- Ubicación del paciente.
- Base SAMU, para redireccionar el mensaje de emergencia.

Es enviada al Directorio Facilitador 1, con el fin de iniciar su funcionamiento y continuar con el proceso de atención prehospitalaria propuesto (ver Fig. 3.10).

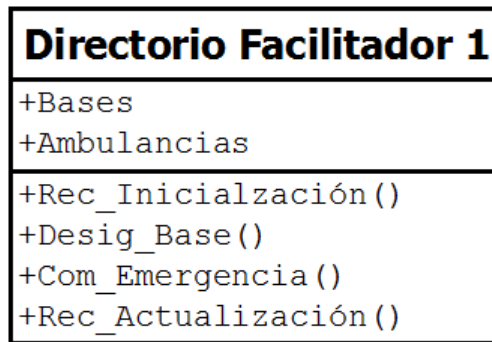


Fig. 3.11 Agente Directorio Facilitador 1 (DF 1) (Fuente: Elaboración Propia.)

- DF 1: ente de *Software* que contiene información de bases y ambulancias, como estado de ocupación, para diferenciar si las ambulancias se encuentran libres u ocupadas; prioridad, referida a la emergencia que se encuentra atendiendo; y ubicación, para determinar distancias con la ubicación de la emergencia, esta información es adquirida a partir de la recepción de la inicialización y actualización que realizan Holons Ambulancia y Holons Base (**Rec_Iniciaización()** y **Rec_Actualización()**), las que se diferencian en que la inicialización se realiza al momento de incorporar nuevos Holons y la actualización, cada vez que un proceso concluye. En base a esta información, DF 1 , selecciona la mejor opción a la que designar cada emergencia. Además, cumple con la tarea de informar la decisión (**Com_Emergencia()**) a la Base y Ambulancias seleccionada, además de alertar al Directorio Facilitador 2, con el fin de iniciar sus actividades (ver Fig. 3.11)

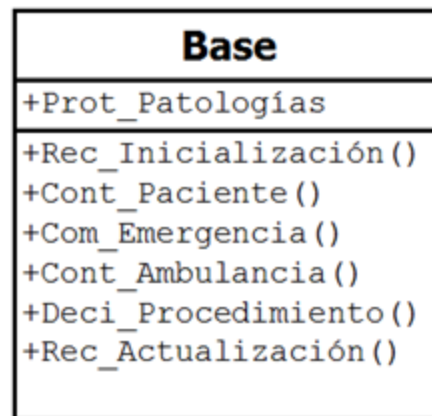


Fig. 3.12 Holón Base (Fuente: Elaboración Propia.)

- **Base:** holón que representa las diferentes bases de la jurisdicción, almacena información de las diversas patologías y protocolos y procedimientos de cómo debe ser abordado encargado por el personal de salud que compone las tripulaciones. Entre las tareas que Holón Base debe realizar podemos encontrar, la recepción de la inicialización y actualizaciones de las ambulancias (**Rec_Inicialización()** y **Rec_Actualización()**), con el fin de mantener la tripulación necesaria a disposición de las emergencias. Además, debe mantener contacto con Holón Ambulancia (**Cont_Ambulancia()**), y decidir, mediante la retroalimentación, que entrega la tripulación del estado del paciente (**Deci_Procedimiento()**), si éste cumple con las características para ser trasladado a un centro asistencial. Finalmente, esta decisión es enviada al Holón Ambulancia y al DF2 (**Com_Emergencia()**) para comenzar con sus secuencias y así continuar con la cadena de comunicación para un proceso asistencial (ver Fig. 3.12).

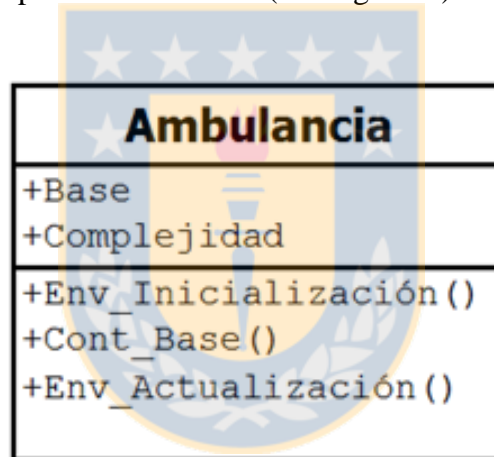


Fig. 3.13 Holón Ambulancia (Fuente: Elaboración Propia.)

- **Ambulancia:** ente compuesto por la tripulación, el móvil y su equipamiento, el cual realiza procedimientos tanto físicos como lógicos, con el fin de lograr sus metas individuales que aportan para cumplir con el objetivo del sistema de atención prehospitalario. Los distintos Holons Ambulancia, que se diferencian por la base de que proceden y su nivel complejidad, son los encargados de realizar bastantes tareas, desde simples notificaciones (labores lógicas), como el envío de la información necesaria para inicializar y actualizar su estado, prioridad y ubicación (**Env_Inicialización** y **Env_Actualización()**), para que DF 1, cuente con los datos necesarios para realizar sus selecciones; hasta evaluaciones de pacientes, estabilizaciones y traslados (labores

físicas), que son realizados por la tripulación y el móvil, y cuyos resultados son enviados al Holón Base (**Cont_Base()**) para que éste realice sus actividades (ver Fig. 3.13).

Directorio Facilitador 2
+Hospitales
+Urgencias
+Com_Emergencia()
+Desig_Traslado()

Fig. 3.14 Directorio Facilitador 2 (DF 2) (Fuente: Elaboración Propia.)

- DF 2: ente de *Software*, que al contener información de hospitales y servicios de urgencia, es el encargado de cuestionarlos con el fin de establecer una lista recomendada de centros de urgencia para cada traslado de paciente. Esta labor, automática, y cuyo único componente es lógico, se inicia cuando se establece la necesidad de trasladar a un paciente a un Centro Asistencial y se realiza consultando (**Com_Emergencia()**) y recopilando información que permita evaluar en base distintos parámetros de prioridad la ocupación del centro de urgencia, disponibilidad de servicios del hospital y su distancia al punto de la emergencia, contra la gravedad de cada paciente, en base a estas variables DF 2 puede decidir el servicio de emergencia (**Desig_Traslado()**) al que se trasladará el paciente (ver Fig. 3.14).

Urgencia
+Camas
+Especialistas
+Disponibilidad()
+Recepción()

Fig. 3.15 Holón Urgencia (Fuente: Elaboración Propia.)

- Urgencia: ente de que realiza labores tanto lógicas como físicas, es el encargado de evaluar constantemente su tasa de ocupación a través de flujos de entrada y salida, y la

presencia de especialistas con el fin de comunicar un estimado de tiempo de atención (**Disponibilidad()**) al DF 2, cada vez que éste lo requiera, con el fin de realizar sus labores de decisión. Además, el personal del servicio de urgencia, debe realizar la labor de ingresar al paciente (**Recepción()**) con el fin de terminar con el proceso prehospitalario (ver Fig. 3.15).

Hospital
+Complejidad
+Camas
+Servicios
+Especialistas
+Disponibilidad()
+Hospitalización()

Fig. 3.16 Holón Hospital (Fuente: Elaboración Propia.)

- Hospital: ente que realiza actividades completamente lógicas, y que busca facilitar el ingreso de pacientes al proceso hospitalario. En primer lugar, el agente debe evaluar su tasa de ocupación (**Disponibilidad()**), en base a la evaluación de variables como tasas de llegada y salida de los distintos servicios y especialistas, en conjunto al dimensionamiento del centro asistencial, con el fin de comunicar esta información al DF 2 para que tome una correcta decisión del lugar de traslado del paciente intervenido. Además, busca ingresar a los pacientes, desde el servicio de urgencia a un servicio de hospitalizados (**Hospitalización()**), exportando datos, registros y pendientes (ver Fig. 3.16).

El proceso de atención prehospitalario propuesto, y que fue detallado mediante la formulación del Diagrama de Clases y su posterior detalle, se complementan con la descripción del proceso a través del siguiente Diagrama de Secuencia, Fig. 3.17, con el cual puede explicarse los pasos y relaciones que permiten el funcionamiento total del Sistema de Gestión de Alarmas Médicas basado en el enfoque HMS.

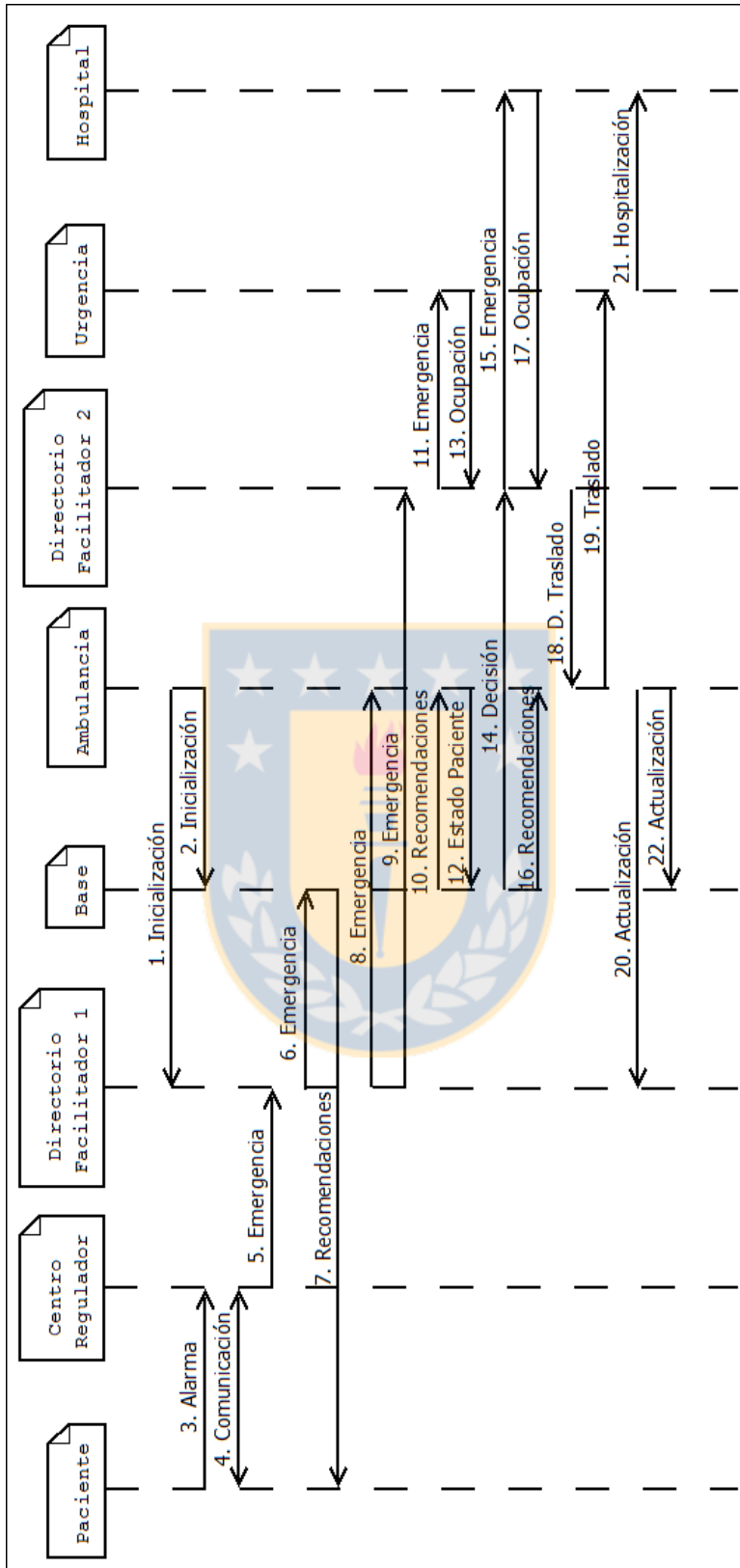


Fig. 3.17 Diagrama de Secuencias del Sistema Propuesto para la Gestión de Alarmas Médicas (Fuente: Elaboración Propia.)

- 1.- Todos los Holons Ambulancia inicializan su estado, libre u ocupado, con el fin de conocer la oferta y cuales móviles pueden responder a una alarma de urgencia; su complejidad, para designar los móviles de forma adecuada a la prioridad de la alarma; y finalmente, su posición, la que es de fundamental importancia para determinar el móvil que acudirá a la emergencia. Esta información es enviada a DF 1, para que sea almacenada y el agente cuente con ella al momento de la toma de decisión.
- 2.- Además, deben inicializar la misma información a los Holons Base, ya que estos deben conocer cuántos móviles se encuentran en procesos activos o en espera, para contar con la cantidad necesaria de personal para designar las tripulaciones.
- 3.- El dispositivo que monitorea al paciente, al detectar anomalías en las señales captadas desde el usuario, gatilla una alarma que posee información del paciente, como identificación, ubicación y patología; la que es enviada al Centro Regulator.
- 4.- El Centro Regulator, puede mantener comunicación con el paciente, para hacer recomendaciones, las que se basan en protocolos preestablecidos de acuerdo a cada patología. Además, según la ubicación de la alarma, se le asigna una base recomendada, la que debe atender la emergencia según su jurisdicción.
- 5.- La alarma, luego de ser validada y adjuntada a la lista de bases recomendadas, es enviada al DF 1, permitiendo que comience con sus actividades.
- 6.- El DF 1, decide de forma automática la base a la que se le encarga la emergencia, y envía la solicitud que permite continuar con la comunicación de emergencia.
- 7.- La Base, puede conectarse con el paciente para enviar recomendaciones, según la patología y el protocolo que para ella se considera correcta y preestablecida.
- 8.- DF 1, envía la señal de alarma al Holón Ambulancia que seleccionó, según su estimación de prioridad de las variables anteriormente mencionadas.
- 9.- DF 1, envía un mensaje de alarma al DF 2, con el fin de iniciar su actividad de consulta a los servicios de urgencia y los centros hospitalarios.
- 10.- Holón Base, envía recomendaciones al holón Ambulancia, según patología y protocolo, para establecer los procedimientos iniciales.
- 11.- DF 2, consulta al Holón Urgencia, sobre su estado de ocupación, lo que permite establecer servicios de urgencia recomendados.

- 12.- Llegando al lugar de la emergencia, la tripulación del Holón Ambulancia, actualiza el estado del paciente y lo comunica al Holón Base.
- 13.- Urgencia envía al DF 2 su estado de ocupación y su disponibilidad de especialistas, con el fin de que DF 2, considere estas variables al momento de realizar su tarea de toma de decisiones.
- 14.- Holón Base, estima la necesidad de traslado del paciente, la que es enviada al DF 2.
- 15.- DF 2, consulta el estado a los hospitales, con el fin de conocer sus estados de ocupación, tanto de servicios como de personal.
- 16.- Base recomienda a holón ambulancia para estabilización si es necesario su traslado (y seguir con los pasos siguientes), o finalizar el procedimiento si no es necesario (y saltar a paso 20).
- 17.- Holón Hospital, informa sobre sus niveles de ocupación a DF 2.
- 18.- Con la información de ocupación y distancia del centro asistencial, y estabilidad del paciente, DF 2 consigue determinar una lista recomendada de Centros Asistenciales para trasladar al paciente, la que se le informa a holón Ambulancia.
- 19.- Ambulancia traslada al paciente estabilizado al centro hospitalario seleccionado.
- 20.- Ambulancia actualiza su estado en DF 1 al finalizar el traslado del paciente.
- 21.- Paciente estabilizado puede ser trasladado a hospitalización, para otros exámenes.
- 22.- Ambulancia actualiza su estado en holón Base al finalizar el traslado del paciente.

Con el fin de obtener un análisis funcional del sistema propuesto, éste es modelado mostrando de forma jerárquica decisiones, acciones y actividades que se realizan para que, bajo distintos mecanismos de ejecución y condiciones de control, las entradas descritas puedan transformarse en las salidas esperadas. El sistema general modelado con la técnica IDEF (*Integration Definition for Function Modeling* [49]) se observa en Fig. 3.18.

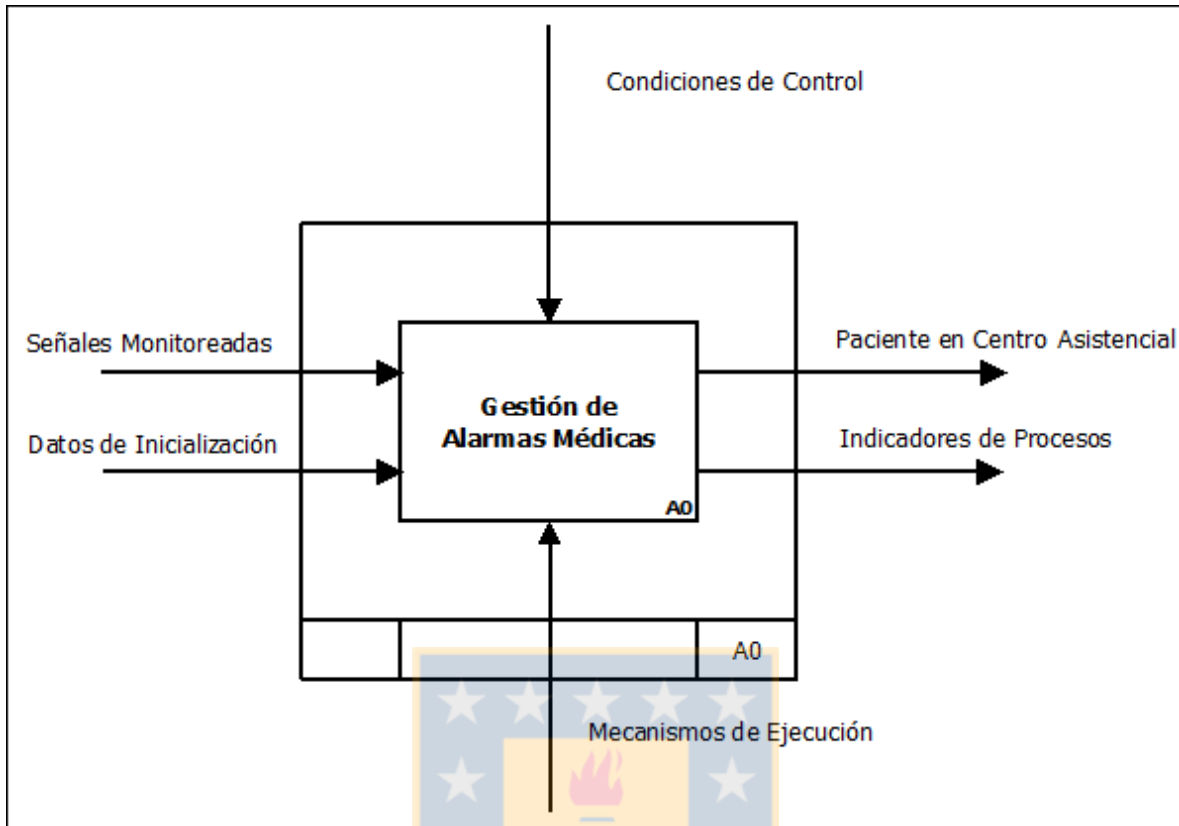


Fig. 3.18 Diagrama IDEF0 General del Sistema Propuesto para la Gestión de Alarmas Médicas

Fuente: Elaboración Propia.

El diagrama anterior, muestra el sistema propuesto (definido como A0 según la metodología IDEF0), de forma general y sin detallar los procesos internos que permiten que las entradas: Señales Monitoreadas, las que pueden ser fisiológicas o de otras fuentes y que buscan establecer el estado de salud inmediato de los pacientes; y Datos de Inicialización, los que corresponden al estado y ubicación de las distintas ambulancias de las bases, con el fin de conocer la información que permita determinar que ambulancia puede responder de forma más oportuna a los llamados, puedan ser transformados mediante la aplicación de condiciones de control, que permiten obtener una correcta salida; y mecanismos de ejecución, que representan lo necesario para desarrollar de forma íntegra las funciones, en las salidas esperadas del sistema: Pacientes ingresados en el Centro Asistencial de nivel adecuado, entrando a la asistencia hospitalaria, con lo que se busca reestablecer su estado de salud; e Indicadores de Procesos, con el fin de crear una base de datos, que al analizarla y procesarla, permita generar nuevas políticas o mejorar el sistema actual.

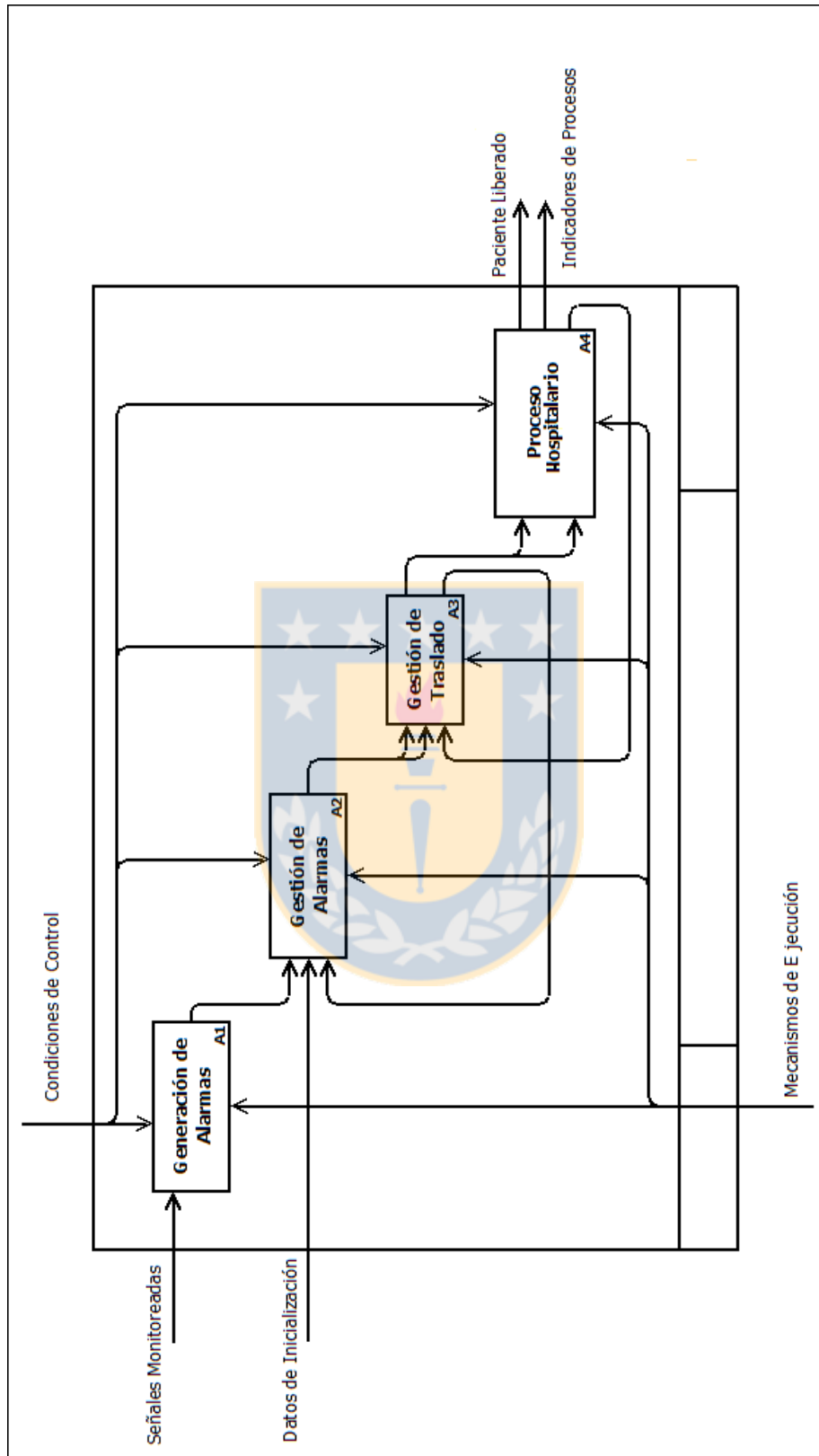


Fig. 3.19 Diagrama IDEF0: Desagregado del Sistema Propuesto para la Gestión de Alarmas Médicas (Fuente: Elaboración Propia).

El diagrama que se observa en Fig. 3.19, se muestra el mismo sistema general del diagrama anterior, sin embargo, esta vez se ha desagregado para mostrar de forma detallada sus funciones principales, además de entradas y salidas que son provistas por el mismo sistema.

La desagregación de A0, muestra las cuatro funciones principales del sistema, que permite la atención prehospitalaria propuesta; Generación de alarma, que gatilla el comienzo del proceso; Gestión de Alarma, para la planificación automática de recursos; Gestión de Traslado, para establecer de forma inteligente el lugar en donde se llevará a cabo el último proceso; y finalmente, Proceso Hospitalario, en donde el paciente ingresa a la atención hospitalaria.

En el diagrama de Fig. 3.20, se muestra la función de Generación de Alarmas, A1, desagregado en sus dos funciones principales. La primera, Adquirir y Procesar Señales, recibe como entrada las señales monitoreadas desde los distintos sensores, las que luego de ser filtradas pasan por un proceso de análisis que permite determinar, mediante distintas relaciones, generar una señal de alarma de la situación de urgencia. La segunda, Recibir y Validar Urgencias, comunica una señal de emergencia hacia el siguiente nivel del sistema, cuando la señal de urgencia cumple ciertos protocolos de validación.

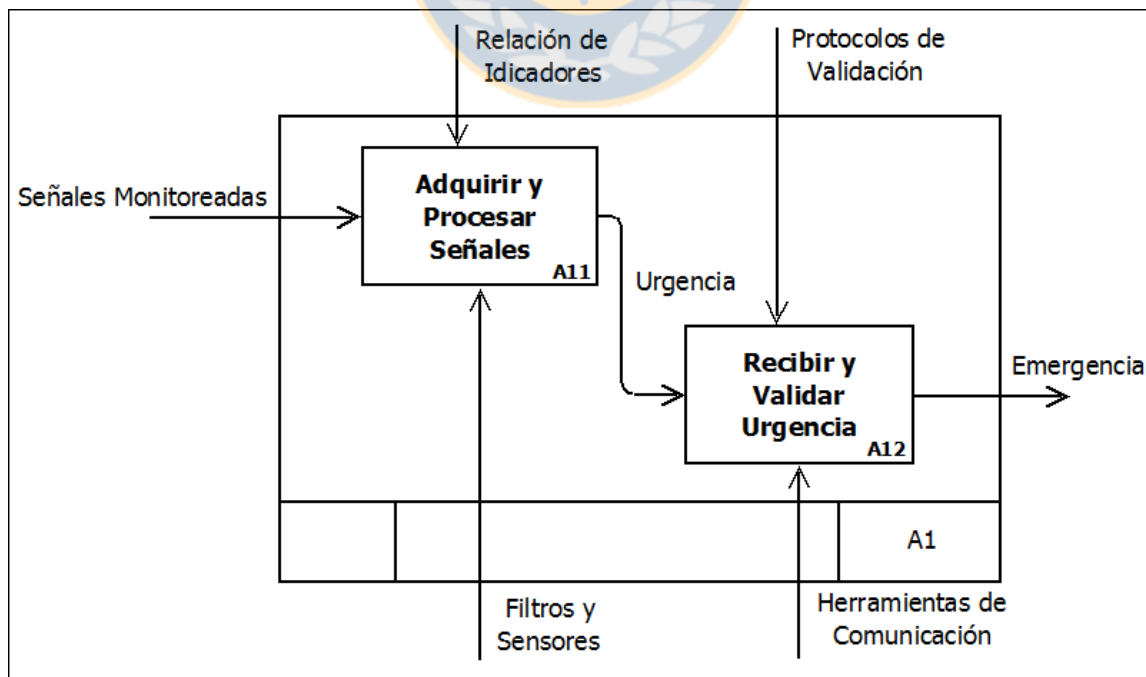


Fig. 3.20 Diagrama IDEF0: Desagregación Generación de Alarma (A1) (Fuente: Elaboración Propia)

En Fig. 3.21, se muestran dos procesos que componen la función Gestión de Alarmas, A2. En primer lugar encontramos, Decidir la Base y Abmulancia, la que a partir de la prioridad de sus entradas, decide que Base y Ambulancia son las encargadas de concurrir a la emergencia. Por otro lado, una nueva función determina, una vez actualizado el estado del paciente por la tripulación de la ambulancia en el lugar, si éste debe ser trasladado a un Centro Hospitalario.

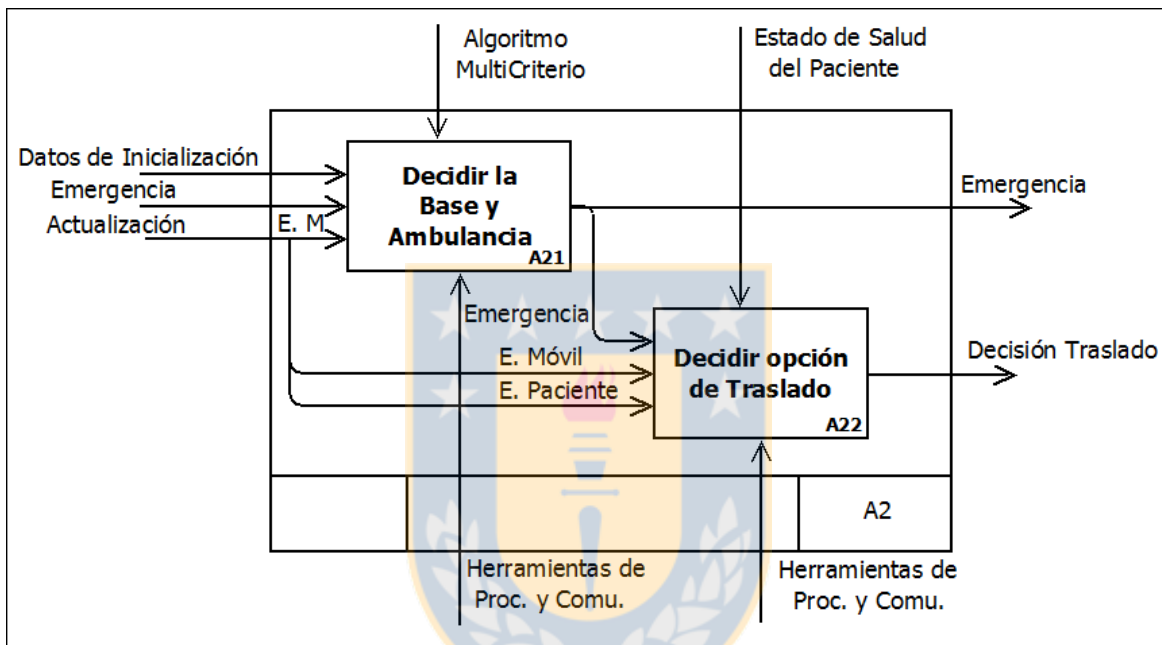


Fig. 3.21 Diagrama IDEF0: Desagregación de Gestión de Alarma (A2). (Fuente: Elaboración Propia.)

En Fig. 3.22, se muestra el diagrama que representa la desagregación de la función Gestión de Traslado, A3, encargado de la decisión y la movilización del paciente estabilizado.

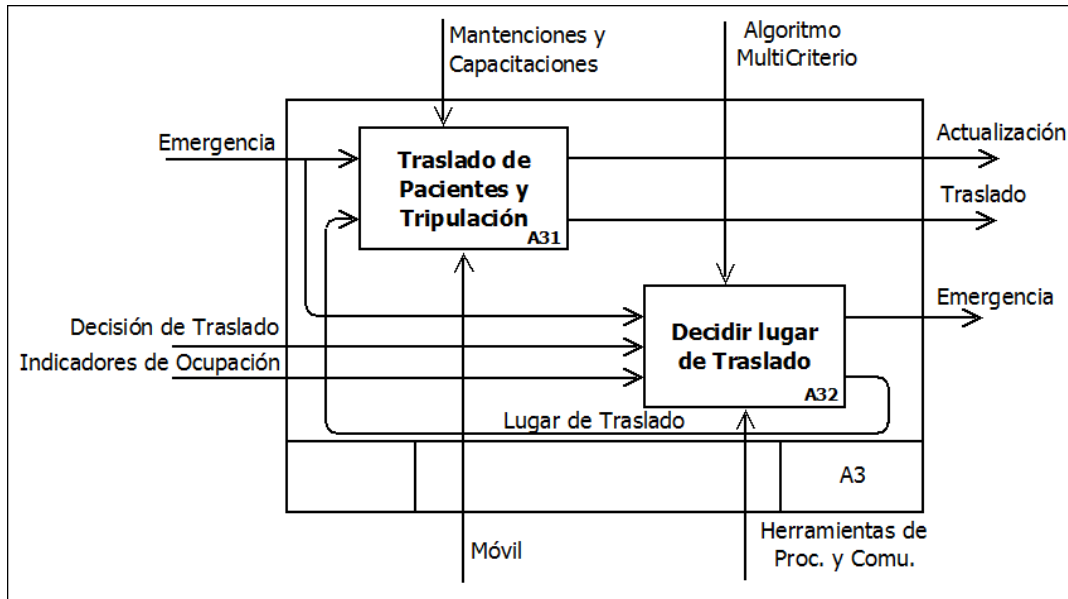


Fig. 3.22 Diagrama IDEF0: Desagregación de Gestión de Traslado (A3). (Fuente: Elaboración Propia.)

El Traslado de Pacientes y Tripulación, es la tarea realizada por el móvil, el cual recibe órdenes a partir de las decisiones tomadas por diferentes Holons y genera información de importancia, la que resulta ser entrada para otros procesos, como la actualización de su estado, posición y estado del paciente. Con lo que se finaliza el proceso prehospitalario.

En Fig. 3.23, podemos observar los procesos de Recepcionar y Estabilizar, y Evaluar y Liberar, los que componen, el inicio del Proceso Hospitalario, A4. Ambos procesos deben realizar la labor de evaluar su demanda inmediata para que se pueda tomar la mejor decisión de traslado de pacientes. Además, se debe recibir e ingresar los pacientes para que estos puedan ser estabilizados dentro de un Centro Asistencial, así como de proveer de un lugar de reposo si es que se necesitan exámenes o servicios clínicos que permitan diagnosticar y tratar al paciente.

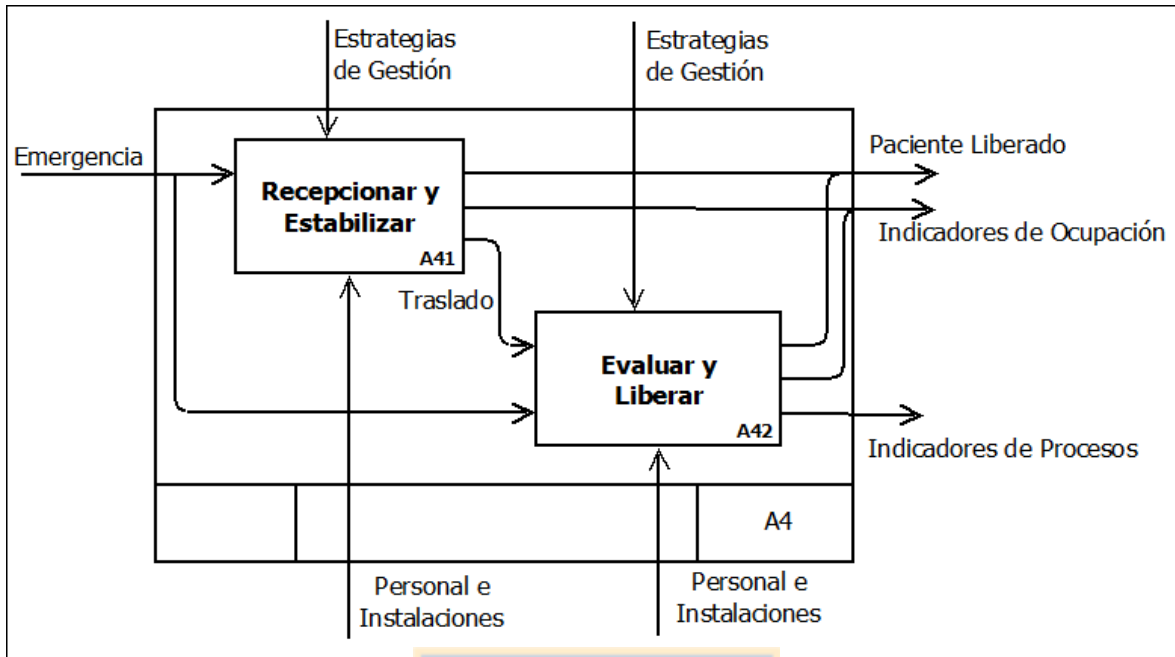


Fig. 3.23 Diagrama IDEF0: Desagregación de Proceso Hospitalario (A4). (Fuente: Elaboración Propia.)

Smart Python multi-Agent Development Environment, SPADE, es una plataforma MultiAgente basada en tecnología XMPP/Jabber y desarrollada para ser programada en Python, sin embargo, acepta la comunicación de distintos lenguajes de programación mientras cumpla con las reglas de comunicación. Una de sus características, es facilitar la creación de sistemas Multi-Agentes al establecer canales de comunicación, agentes, servidores y protocolos de comunicación basados en XML, como el FIPA, que establece un canal de comunicación del agente; un sistema de gestión de agentes, donde puedan registrarse; un directorio facilitador (DF), donde se publican los servicios que ofrecen los agentes; y finalmente, un lenguaje común para comunicarse entre agentes (ver Fig. 3.24). Además, ofrece una plataforma web, en donde puede realizarse, entre otras cosas, un seguimiento de las interacciones de lo agente.

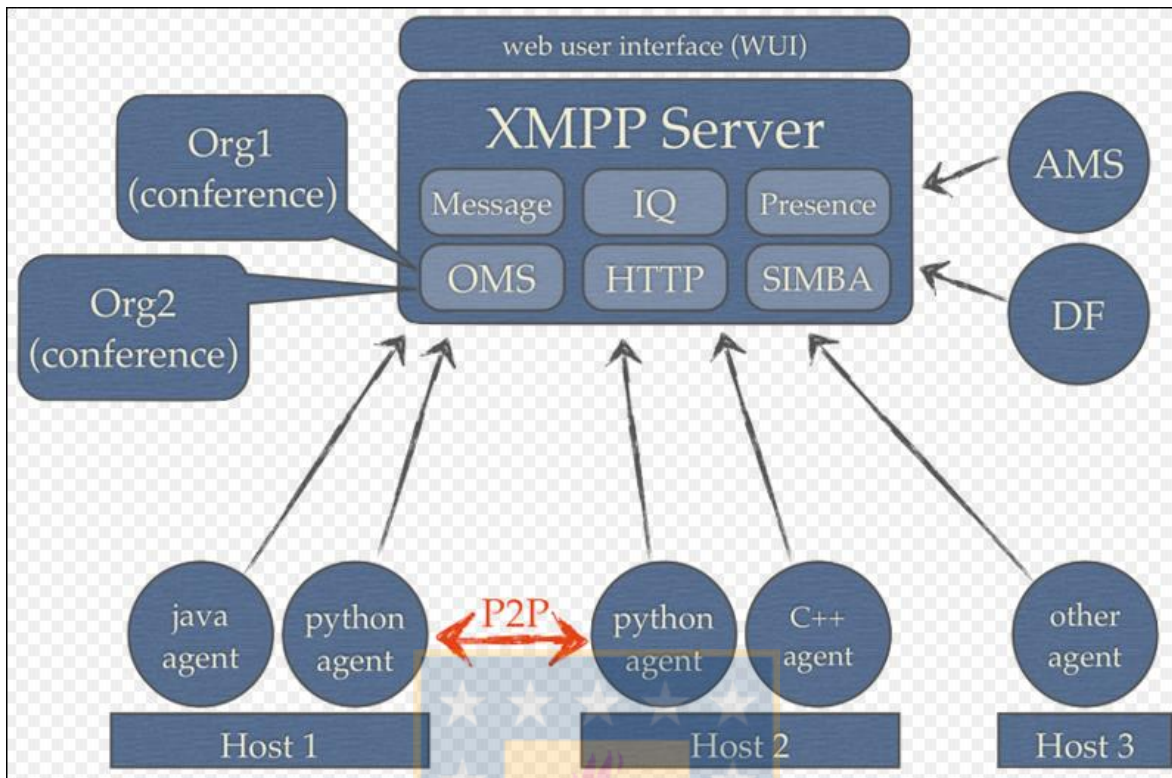


Fig. 3.24 Información General de SPADE (Fuente: Manual de Usuario de SPADE)

Para la construcción de agentes, se utiliza la biblioteca SPADE, componente de software que facilita y ayuda, proveyendo clases, funciones y estructuras de datos para el desarrollo de aplicaciones. Para esto, cada agente debe tener un identificador y una dirección, con el fin de registrar al agente y que éste pueda tener un flujo abierto de comunicación. Además, esta biblioteca, establece seis comportamientos, que establecen patrones en que los agentes ejecutan sus labores. Entre estos comportamientos encontramos:

- Comportamiento Cíclico: el agente se programa para iniciar la realización de una tarea, cada vez que esta termine de desarrollarse. Comportamiento para tareas repetitivas.
- Comportamiento Periódico: el agente desarrolla una tarea con una periodicidad preestablecida. Comportamiento para tareas repetitivas.
- Comportamiento Único: “One-Shot”, busca desarrollar una tarea una única vez. Comportamiento utilizado para tareas casuales.

- Comportamiento Tiempo de Espera: el agente desarrollado para comportarse en “Time-out”, realiza una tarea cuando un tiempo de espera predefinido termina. Comportamiento para tareas casuales.
- Máquina de Estados Finitos: el autómata, es un comportamiento avanzado, definiendo un número de estados que corresponden a los comportamientos anteriormente señalados. Para esto es necesario definir un estado inicial y uno final, además de las transiciones entre estados.
- Comportamiento Eventual: agente diseñado para dar respuesta a un evento predefinido.
-

3.3.1 Simulación Proceso Tradicional vs Sistema Propuesto

El modelo presentado en Fig. 3.25, es la simplificación del Sistema Tradicional de Gestión de Alarmas Médicas, en el cual pueden observarse dos conjuntos de módulos, los cuales fueron separados por colores, Rojo y Azul, ya que tienen distintas finalidades.

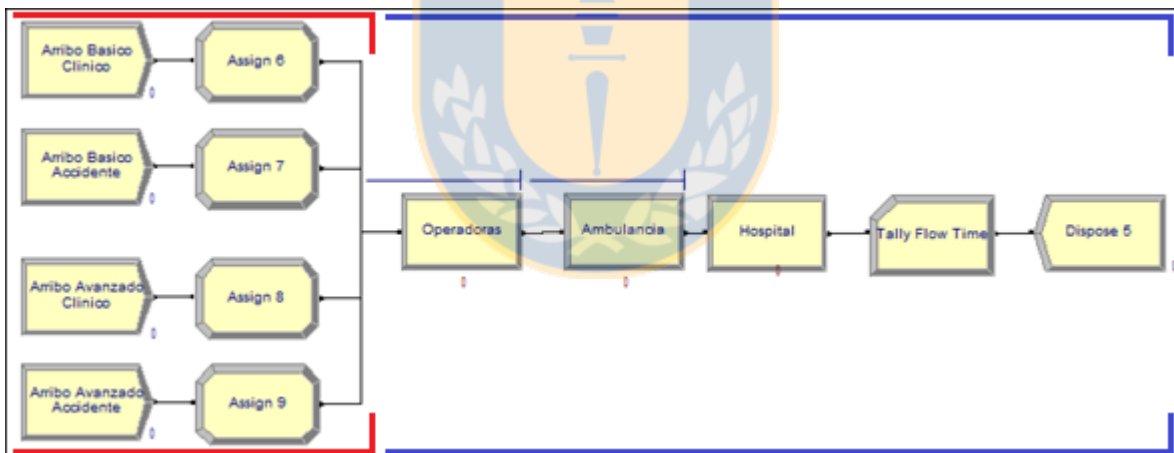


Fig. 3.25 Modelo de Simulación del Sistema Tradicional Simplificado (Fuente: Elaboración Propia.)

- Rojo: este conjunto de módulos, son los encargados de crear las entidades, llamadas realizadas al Centro Regulador, las que se generan a partir de una distribución de probabilidades validada en la simulación anterior, ver Tabla 3.11 Distribución de Probabilidades del SAMU Costa. Además, a estas unidades creadas, se les asigna un tiempo de procedimiento, validados en la simulación anterior, y que corresponden a las expresiones mostradas en Tabla 3.10 y Tabla 3.9.

- Azul: conjunto de módulos que representan la unión de distintos procesos, diferenciados entre los que pueden ser modificados, en su duración y metodología, a partir del enfoque propuesto y los que presentan un patrón menos alterable utilizando el enfoque holónico. En esta simulación, se utilizaron los tiempos de procesos obtenidos en la base de datos, y la organización de estos, es sólo una medida referencial para entender de mejor manera la simulación del proceso propuesto. EL bloque Operadora agrupa los procesos de “Tiempo de Operadora” y “Tiempo de Despacho”, los cuales se buscan que sean decisiones automáticas basadas en el procesamiento de la información captada por los sensores con los que se planea controlar las variables fisiológicas de los pacientes y la ubicación del mismo en un plano geográfico. De esta manera se busca reemplazar el cuestionario realizado por la operadora para casos en donde el paciente sufra síntomas de alguna enfermedad preexistente y anteriormente diagnosticada, que pueda ser monitoreable. El bloque Ambulancia, agrupa ciertos procesos que difíciles de ser abordados o mejorados mediante el enfoque holónico. En esto agrupamos los traslados del móvil, desde o hacia el lugar de la emergencia, con o sin el paciente, y la tripulación de la ambulancia. Finalmente, el bloque Hospital, el cual representa el proceso de liberación del móvil, el cual si bien, puede ser automatizado, para ayudar a la toma de decisiones del lugar de traslado, su modificación no puede ser cuantificada en los tiempos de procesos, lo que impide evaluar los completos beneficios del enfoque holónico aplicado a la logística de emergencia.

El modelo presentado en Fig. 3.26, representa el ciclo de procesos realizados por el Sistema de Gestión de Alarmas Médicas planteado en la sección anterior, en una versión simplificada, pues sólo se utilizará con fines comparativos. Éste, se divide en tres conjuntos distribuidos por los colores: Rojo, Azul y Verde.

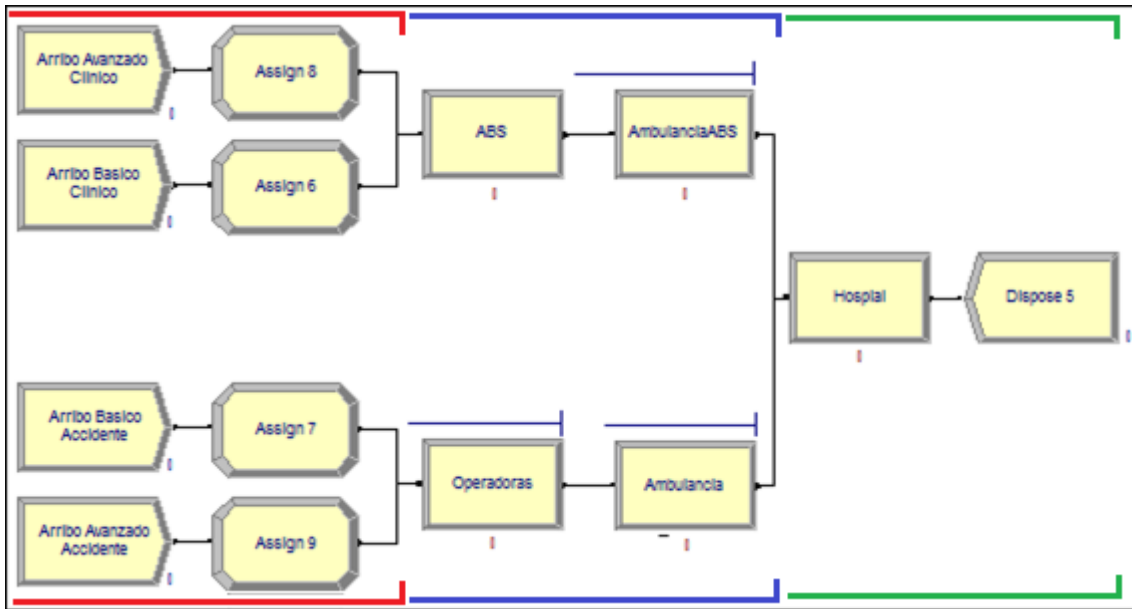


Fig. 3.26 Modelo de Simulación del Sistema Propuesto Simplificado (Fuente: Elaboración Propia.)

Rojo: Al igual que en los modelos anteriores muestra la creación y asignación de parámetros de las llamadas creadas. Sin embargo, difiere en el ordenamiento, ya que en la parte superior encontramos los creadores de llamadas clínicas, los que estarían sujetos a procesos automatizados, y en la parte inferior, arribos de accidentes, en donde el sistema propuesto no presenta repercusión cuantificable, ya que no modifica los procesos T1 y T2.

Azul: las llamadas clínicas, ingresan a un proceso que presenta cero segundos como tiempo de duración, debido a la automatización que permite el sistema planteado. Las llamadas de accidentes, ingresan al módulo operadora, el cual no presenta cambios en relación al modelo anterior. En la siguiente etapa las llamadas ingresan a módulos distintos, sin embargo, es sólo una representación visual para aclarar el proceso, ya que los recursos de ambulancias utilizados, son compartidos en esta etapa.

Verde: Ambos procesos paralelos, ingresan a un mismo hospital. Aunque el sistema planteado busca incorporar otros centros hospitalarios, no se agregó a la simulación por la imposibilidad de cuantificar el cambio en los tiempos de procesos que generaría la automatización de la decisión de traslado.

Capítulo 4. Resultados

4.1. Introducción

En este capítulo, se presentan los resultados cuantitativos y cualitativos obtenidos a partir de la simulación del sistema tradicional, de un sistema tradicional simplificado y del sistema propuesto basado en Holons, todos realizados en el Software Arena, en donde se analizarán tiempos de respuesta. Además, se plantearán los resultados obtenidos a partir de la programación de funciones e interacciones, desarrolladas en SPADE. Finalmente, se comentarán los resultados obtenidos al emular los beneficios que un Sistema basado en Holons puede otorgar a los sistemas planteados.

4.2. Programación en SPADE

La programación de Holons en la Plataforma SAPDE, dirigido a determinar la factibilidad y características funcionales del sistema propuesto, logró demostrar y ratificar, entre otros, tres puntos importantes que permiten evidenciar un correcto desempeño y, al mismo tiempo obtener parámetros necesarios para cuantificar algunos de los beneficios que el enfoque propuesto permite garantizar, como la disminución en tiempos de respuesta.

En primer lugar, fue factible desarrollar e implementar, con el *software* utilizado, un sistema distribuido compuesto por diversos entes que realizan sus tareas asignadas con el fin de lograr objetivos comunes. Además, las librerías utilizadas permiten incorporar características deseables en este tipo de sistemas, como aspectos de seguridad, como claves que permiten el acceso al sistema; y confiabilidad, como redundancias para asegurar un comportamiento adecuado.

En segundo lugar, las lógicas propuestas, y que rigen las interacciones de los componentes de sistema, fueron desarrolladas en su totalidad, lo que permitió observar el comportamiento general del sistema, así como las interacciones específicas que comprendían la comunicación de agentes que realizaban tareas de toma de decisiones automáticas, lo que se observa en las siguientes Figuras:

En Fig. 4.1, se muestra el resultado de la programación en SPADE de un agente de *software* que realiza la recepción automática de las llamadas de urgencia. Con el fin de analizar sus resultados, fueron distribuidos en colores que se explican a continuación:

- Rojo: el agente se encuentra a la espera de una llamada, este comportamiento se mantiene durante el tiempo mientras que, por un lado, un mensaje de un Smartphone, representado en este caso como otro agente de programación, no alerte de una situación adversa; y por otro lado, después de que una llamada de emergencia concluye con los últimos procesos prehospitarios.
- Azul: muestra las confirmaciones de la recepción y envío de los mensajes, con el fin de conocer y determinar la continuidad de la comunicación.
- Naranja: la información de la emergencia, junto a la distancia es enviada hacia las ambulancias, las que responden con su posición y estado (libre u ocupado).
- Verde: conociendo el valor de las variables de posicionamiento, tanto de los móviles como de las urgencias, DF 1, determina, de acuerdo a distancia y ocupación que móvil enviar, que como se muestra, es la ambulancia C que se encuentra a una distancia de 206.1 metros la seleccionada para realizar el proceso prehospitario.

```

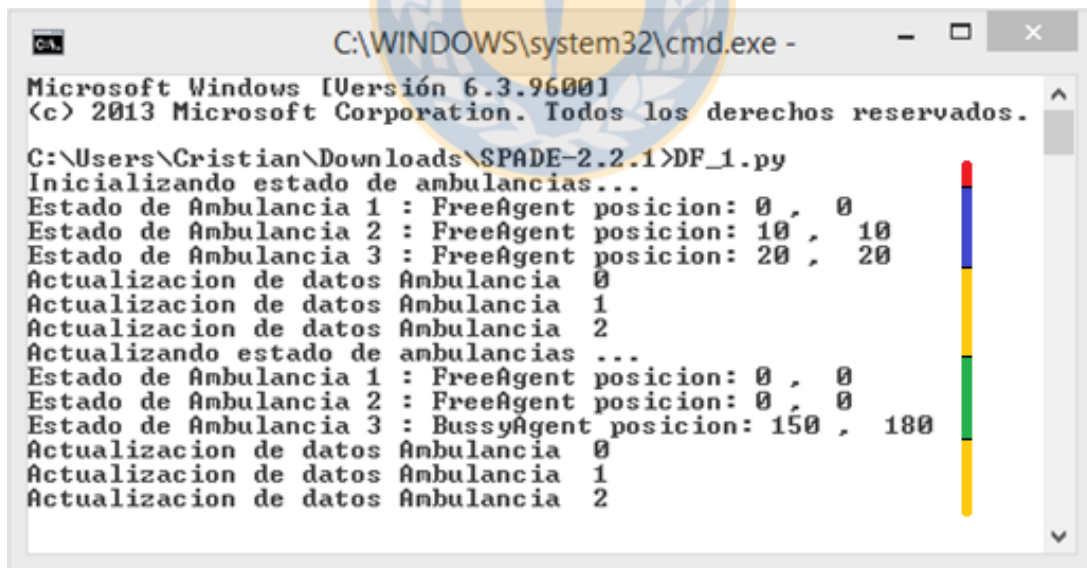
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe -
C:\Users\Cristian\Downloads\SPADE-2.2.1>EmergencyCenter_Agent.py
Esperando alarma ...
Esperando alarma ...
Mensaje Recivido
Confirmacion de Alarma Enviada al Smartphone
Enviada posicion de alarma a Ambulancia: 0
Enviada posicion de alarma a Ambulancia: 1
Enviada posicion de alarma a Ambulancia: 2
Info recepcionada desde Ambulancia A
distancia recibida 234.3
Info recepcionada desde Ambulancia B
distancia recibida 220.2
Info recepcionada desde Ambulancia C
distancia recibida 206.1
ingreso 0
ingreso 1
ingreso 2
Enviada decision a Ambulancias ...
206.1
Esperando alarma ...
Esperando alarma ...
Esperando alarma ...
Esperando alarma ...
  
```

Fig. 4.1 Programación en SPADE: Holón Centro de Emergencia (Fuente: Elaboración Propia.)

Nota: Para el desarrollo del agente anterior, los valores de ubicación, son inicializados por el programador, sólo como un ejercicio de muestra, en donde los valores de posicionamiento son distintos para cada móvil, con el fin de determinar el correcto funcionamiento de la lógica de decisión.

En Fig. 4.2, la programación del Agente DF 1, el cual determina que móvil acudirá a las emergencias. Para especificar el proceso, se definieron los colores que se explican a continuación:

- Rojo: los móviles inicializan sus estados y su posición, para comenzar a construir la base de datos de la oferta de ambulancias.
- Azul: se muestra la información recepcionada desde los móviles.
- Naranja: luego de recibir una señal de emergencia, los datos de los móviles son actualizados.
- Verde: luego de la actualización, el único que presenta una alteración es el móvil seleccionado, que pasa a ser un recurso ocupado y con la posición del lugar de la emergencia.



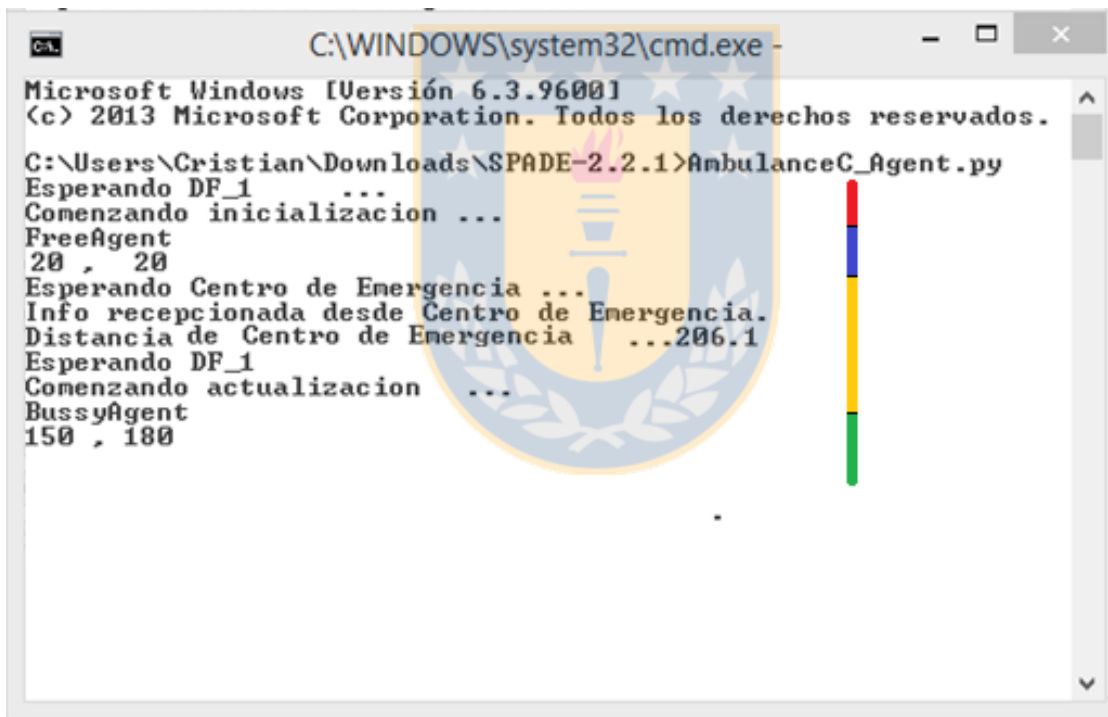
```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe -
Microsoft Windows [Versión 6.3.9600]
(c) 2013 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\Cristian\Downloads\SPADE-2.2.1>DF_1.py
Iniciando estado de ambulancias...
Estado de Ambulancia 1 : FreeAgent posicion: 0 , 0
Estado de Ambulancia 2 : FreeAgent posicion: 10 , 10
Estado de Ambulancia 3 : FreeAgent posicion: 20 , 20
Actualizacion de datos Ambulancia 0
Actualizacion de datos Ambulancia 1
Actualizacion de datos Ambulancia 2
Actualizando estado de ambulancias ...
Estado de Ambulancia 1 : FreeAgent posicion: 0 , 0
Estado de Ambulancia 2 : FreeAgent posicion: 0 , 0
Estado de Ambulancia 3 : BussyAgent posicion: 150 , 180
Actualizacion de datos Ambulancia 0
Actualizacion de datos Ambulancia 1
Actualizacion de datos Ambulancia 2
```

Fig. 4.2 Programación en SPADE: Agente DF 1 (Fuente: Elaboración Propia.)

En Fig. 4.3, se muestra los resultados de software obtenidos a partir de la programación de un agente Ambulancia, en el cual se buscó representar sus actividades lógicas, las que se separaron por colores para su explicación:

- Rojo: Ambulancia inicializa sus datos, a partir de una señal del DF 1.
- Azul: sus parámetros de inicialización se comunican desde una posición inicial (20,20) y presentando un estado libre de actividades.
- Naranja: el agente recibe información sobre el lugar de la emergencia, mostrando la distancia que se encuentra entre su posición inicial y el paciente.
- Verde: agente ambulancia actualiza sus datos, en donde al ser seleccionada se transforma en un recurso ocupado con posición referida al lugar de la emergencia.



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe -
Microsoft Windows [Versión 6.3.9600]
(c) 2013 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\Cristian\Downloads\SPADE-2.2.1>AmbulanceC_Agent.py
Esperando DF_1 ...
Comenzando inicializacion ...
FreeAgent
20 , 20
Esperando Centro de Emergencia ...
Info recepcionada desde Centro de Emergencia.
Distancia de Centro de Emergencia ...206.1
Esperando DF_1
Comenzando actualizacion ...
BussyAgent
150 , 180
```

Fig. 4.3 Programación en SPADE: Holón Ambulancia (Fuente: Elaboración Propia.)

Finalmente, la programación del sistema general, permitió determinar de forma empírica que los tiempos destinados a tareas automáticas no presentan un valor significativo. Este resultado de la programación, que se muestra en Fig. 4.1, Fig. 4.2 y Fig. 4.3, será utilizado como tiempo de realización para las tareas automáticas simuladas.

4.3. Validación y Simulación

Luego de evidenciar la factibilidad de la implementación teórica del sistema propuesto basado en Holons, se simuló su funcionamiento con el fin de cuantificar los beneficios que presentan al automatizar diversas tareas. Para esto, se realizaron tres modelos, de los cuales, el primero fue utilizado para validar las distribuciones de probabilidad calculadas, y los otros dos, al ser alimentados con las distribuciones validadas, se utilizaron para comprar el sistema tradicional y el propuesto.

Los resultados obtenidos del software Arena, al simular el Sistema Tradicional General de Atención Prehospitalaria, se observan en Tabla 4.1, en donde se buscó comprobar si el número total de llamadas registradas en la base de datos aportada por el SAMU Costa, tenía relación con el número de llamadas atendidas mostradas en la simulación, ya que ambos representan el mismo sistema tradicional de Gestión de Alarmas Médicas. Con esto, se establece el correcto cálculo de las distribuciones de probabilidad y el correcto planteamiento del modelo, el cual servirá de base para determinar un modelo simplificado que será el punto de comparación para determinar los beneficios que presenta un sistema de Gestión de Alarma Médicas basado en Holons.

Tabla 4.1 Validación Simulación Sistema Tradicional de Gestión de Alarmas Médicas.

	Validación		
	Simulación	Base de Datos	Diferencia [%]
N° Llamadas Básica Accidentes	4461	4399	1.41
N° Llamadas Básica Clínica	3669	3669	0
N° Llamadas Avanzada Accidentes	1408	1417	0,635
N° Llamadas Avanzada Clínica	190	205	7,894
Total Llamadas Atendidas	9728	9690	0.392

Fuente: Software Arena 14.5. Elaboración Propia.

Además, a partir de este modelo se obtuvieron los tiempos de cada subproceso que conforma el proceso general de atención prehospitalaria para cada tipo de llamada preestablecida. Estos resultados son graficados en Fig. 4.4

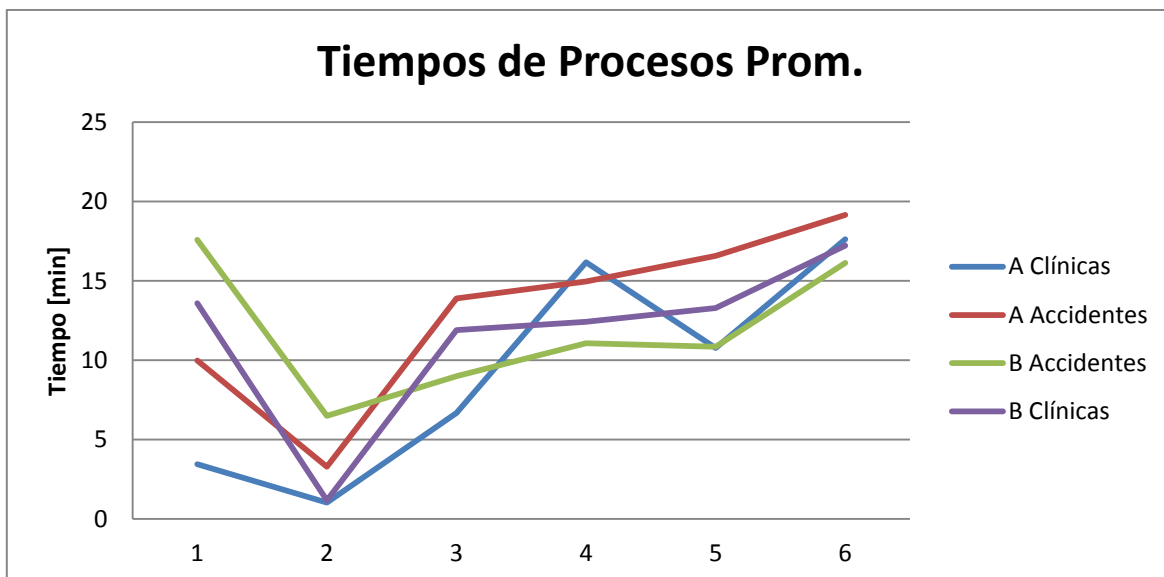


Fig. 4.4 Tiempos de Subprocesos Promedio por Tipo de Llamada. (Fuente: Software Arena 14.5. Elaboración Propia.)

Como se observa, los menores tiempos de procesos, para todas las llamadas se concentran en la actividad de despacho de móviles, mientras que el mayor tiempo de proceso se encuentra en el proceso de liberación del móvil.

A partir de los datos mostrados en la gráfica, y utilizando los resultados obtenidos de la programación de los agentes, donde los tiempos de subprocesos de Operadora y Despacho, al ser completamente automáticas, es de cero segundos, podemos calcular el margen de diferencia entre el tiempo total de proceso, de los cuatro tipos de llamadas, para ambos enfoques mostrados en la investigación.

Tabla 4.2 Diferencia entre Tiempo Total de Procesos

	Tiempo Tradicional [min]	Tiempo HMS [min]	Diferencia [%]
Prom. Av Accidentes	77,84	77,84	0
Prom. Av Clínicas	55,69	51,21	-8,04
Prom. Bá Accidentes	71,12	71,12	0
Prom. Bá Clínicas	69,55	54,80	-21,21

Fuente: Software Arena 14.5. Elaboración Propia.

Utilizando los resultados que se muestra en Fig. 4.4 y Tabla 4.2, podemos obtener el porcentaje que cada subproceso representa para el proceso total de asistencia prehospitalaria. Es así como estos resultados son mostrados en Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Porcentaje que el Subproceso representa del Tiempo Total

	T1 [%]	T2 [%]	T3 [%]	T4 [%]	T5 [%]	T6 [%]
Av Accidentes	12,82	4,22	17,84	19,23	21,28	24,61
Av Clínicas	6,20	1,85	11,98	29,02	19,32	31,64
Bá Accidentes	24,71	9,13	12,65	15,57	15,25	22,68
Bá Clínicas	19,53	1,68	17,10	17,85	19,10	24,75

Fuente: Software Arena 14.5. Elaboración Propia

A partir de la validación de los resultados del Sistema Tradicional General, se utilizaron las distribuciones calculadas para alimentar los sistemas simplificados. Al simular estos nuevos modelos, se logró calcular la utilización de los diversos recursos, tanto para el modelo tradicional, como para el modelo basado en el enfoque holónico. Estos resultados son mostrados en Tabla 4.4, en donde se observa que aunque la ocupación de las Ambulancias se mantiene, debido a que estos recursos se utilizan de igual manera en ambos escenarios, la utilización del recurso Operadoras, disminuye debido a que estas no interfieren en el proceso automático propuesto en el Sistema HMS.

Tabla 4.4 Ocupación de los Recursos

	Sistema HMS	Sistema Tradicional
Amb. Avanzada	0,25	0,25
Amb. Básica 1	0,49	0,49
Amb. Básica 2	0,28	0,28
Operadora 1	0,17	0,25
Operadora 2	0,03	0,06
Total Pacientes	9816	9728

Fuente: Software Arena 14.5. Elaboración Propia.

Este análisis se complementó con la incorporación del desarrollo de tres distintos casos, en donde se modificaron la cantidad de los diferentes tipos de recursos con los que cuenta el Servicio de Atención Prehospitalaria del SAMU zona Costa.

Para la primera modificación, se agrega un nuevo recurso operadora, con el fin de determinar el impacto generado. Para esto, los resultados de ocupación y total de pacientes que atiende el sistema a partir del cambio mencionado se muestra en Tabla 4.5:

Tabla 4.5 Ocupación de los Recursos: Tres Operadoras

	Sistema HMS	Sistema Tradicional
Amb. Avanzada	0,26	0.26
Amb. Básica 1	0,49	0,49
Amb. Básica 2	0,30	0,30
Operadora 1	0,03	0,06
Operadora 2	0,006	0,011
Operadora 3	0,17	0,24
Total Pacientes	9845	9753

Fuente: Software Arena 14.5. Elaboración Propia.

La segunda modificación consiste en agregar un nuevo recurso ambulancia básica, con el fin de determinar el impacto generado. Para esto, los resultados de ocupación y total de pacientes que atiende el sistema a partir del cambio mencionado se muestra en Tabla 4.6:

Tabla 4.6 Ocupación de los Recursos: Tres Ambulancias Básicas

	Sistema HMS	Sistema Tradicional
Amb. Avanzada	0,23	0,23
Amb. Básica 1	0,45	0,47
Amb. Básica 2	0.27	0,26
Amb. Básica 3	0,06	0,06
Operadora 1	0,18	0,25
Operadora 2	0.03	0,06
Total Pacientes	9862	9765

Fuente: Software Arena 14.5. Elaboración Propia.

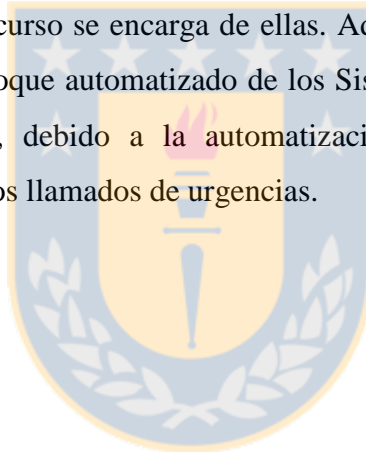
La tercera modificación consiste en agregar un nuevo recurso ambulancia avanzada, con el fin de determinar el impacto generado. Para esto, los resultados de ocupación y total de pacientes que atiende el sistema a partir del cambio mencionado se muestra en Tabla 4.7:

Tabla 4.7 Ocupación de los Recursos: Dos Ambulancias Avanzadas

	Sistema HMS	Sistema Tradicional
Amb. Avanzada 1	0,10	0,10
Amb. Avanzada 2	0,13	0,13
Amb. Básica 1	0,49	0,49
Amb. Básica 2	0,3	0,3
Operadora 1	0,03	0,06
Operadora 2	0,18	0,25
Total Pacientes	9854	9759

Fuente: Software Arena 14.5. Elaboración Propia.

En las tablas anteriores, destinada a mostrar la ocupación de los recursos en diferentes escenarios supuestos, en donde se aumentan las operadoras y ambulancias, se observa, cómo se distribuye la ocupación de los recursos, con lo que la cantidad de labores se reduce, ya que un nuevo recurso se encarga de ellas. Además, en Tabla 4.4, se observa como la incorporación del enfoque automatizado de los Sistema Holónicos, disminuyen la ocupación de las operadoras, debido a la automatización del proceso de recepción, consolidación y recepción de los llamados de urgencias.



Capítulo 5. Conclusiones

5.1. Conclusiones

Mediante la realización de esta investigación, podemos determinar que un sistema, como el propuesto en el diseño experimental, es factible. En primer lugar desde el punto de vista del diseño de las interacciones y en segundo lugar, desde la perspectiva del desarrollo de las funciones que deben realizar los componentes.

Los resultados obtenidos, para los tiempos de respuesta, muestran un lógico descenso en el sistema propuesto, ya que automatizando procesos como la categorización y preparación del móvil, reducimos a cero los tiempos de procesos que abarcan desde contestar la llamada hasta la salida del móvil al lugar de la emergencia. Esta disminución es beneficiosa para el Servicio, debido a la criticidad del factor tiempo en las llamadas a los servicios prehospitalarios.

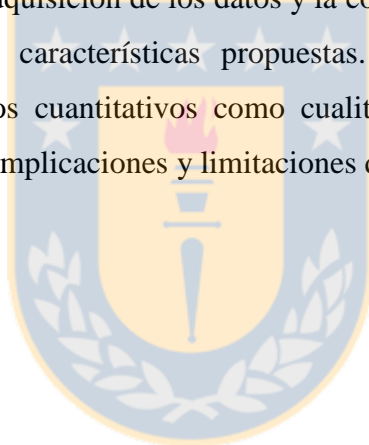
El desarrollo del sistema propuesto para la Gestión de Alarmas Médicas, presenta beneficios como, en primer lugar, la disminución de la carga laboral del recurso operadoras telefónicas, ya que sus funciones de recepcionar, consolidar y validar las llamadas de emergencia son automatizadas por el sistema propuesto. En segundo lugar, la eliminación de la intervención humana, debido a la misma automatización que considera la toma de datos, lo que significaría reducir la cantidad de errores en las bases de datos existentes, facilitando los procesos de planificación de recursos y de toma de decisiones para mejorar los indicadores del servicio.

Finalmente, podemos concluir que un sistema como el propuesto, genera beneficios tangibles en el proceso de atención pre-hospitalaria de urgencia, ya que, aunque el modelamiento a partir de los datos del SAMU zona Costa fueron utilizados solo como una aproximación a estos tipos de servicio, los beneficios presentados, tal como la disminución del 8% y el 21% en el tiempo total de proceso, son significativos.

5.2. Perspectivas de investigación

Realizar una simulación sobre una plataforma de localización geográfica con el fin de determinar y cuantificar los beneficios que una estrategia que desarrolle lógicas como la planteada en esta investigación, en donde se escoge al móvil que debe acudir a la emergencia o el centro asistencial al que se debe trasladar el paciente. Esto se podría desarrollar mediante un algoritmo de decisión multi-objetivo, siendo la distancia u ocupación en tiempo real, variables potenciales a considerar.

Con el fin de avanzar en la cuantificación de los beneficios que puede otorgar la implementación de un sistema como el propuesto, se pretende trabajar en desarrollar un prototipo que pueda unir un sistema de alarmas, compuesto por equipos que permitan el procesamiento de señales, la adquisición de los datos y la comunicación de los eventos; con un sistema que presente las características propuestas. Esta combinación, facilitaría determinar tanto los beneficios cuantitativos como cualitativos de un sistema como el propuesto, como además las complicaciones y limitaciones que puede presentar.



Bibliografía

- [1] D. S. Morillo, “Procesado y Transmisión de Señales Biomédicas para el Diagnóstico de trastornos y Enfermedades del Sueño,” Universidad de Cádiz, 2008.
- [2] M. Essaban, “Sistema Portátil de Electrocardiografía de tres Derivaciones con Comunicación Wireless,” Universitat Politècnica de Catalunya, 2006.
- [3] B. Chen, J. P. Varkey, D. Pompili, J. K.-J. Li, and I. Marsic, “Patient vital signs monitoring using Wireless Body Area Networks,” in *Proceedings of the 2010 IEEE 36th Annual Northeast Bioengineering Conference (NEBEC)*, 2010, pp. 1–2.
- [4] S. Junnila, H. Kailanto, J. Merilahti, A. Vainio, A. Vehkaoja, and M. Zakrzewski, “Wireless , Multipurpose In-Home Health Monitoring Platform : Two Case Trials,” *Inf. Technol. Biomed.*, vol. 14, no. 2, pp. 447–455, 2010.
- [5] “OMS | Envejecimiento.”
- [6] E. Pino, “Biomedical Signal Processing for Diagnosis Support,” Universidad de Concepción, 2009.
- [7] C. R. Oberli Graf, “Procesamiento Inteligente de Señales Fisiológicas a partir de Monitores Computarizados,” Pontificia Universidad Católica de Chile, 1996.
- [8] E. Jovanov, A. Milenkovi, C. Otto, P. De Groen, B. Johnson, S. Warren, and G. Taibi, “A WBAN System for Ambulatory Monitoring of Physical Activity and Health Status : Applications and Challenges MS Internet Internet Internet Internet Internet Internet,” pp. 4–7.
- [9] A. Alahmadi and B. Soh, “A smart approach towards a mobile e-health monitoring system architecture,” in *2011 International Conference on Research and Innovation in Information Systems*, 2011, pp. 1–5.
- [10] A. Alahmadi and B. Soh, “A Four-Step Pre-Analytical Conceptual Study Towards a Reliable Smart Mobile E-health Monitoring System Design,” in *NASNIT 2011 - 15th North-East Asia Symposium on Nano, Information Technology and Reliability*, 2011, pp. 155–160.
- [11] “El futuro de la vigilancia inteligente.” [Online]. Available: <http://www.ihe-online.com/feature-articles/the-future-of-intelligent-monitoring/>. [Accessed: 10-Mar-2014].
- [12] M. M. Maheu, P. Whitten, and A. Allen, *E-Health, Telehealth, and Telemedicine: A Guide to Startup and Success*. Jossey-Bass, 2001, p. 400.

- [13] C. R. Baker, K. Armijo, S. Belka, M. Benhabib, V. Bhargava, N. Burkhart, A. Der Minassians, G. Dervisoglu, L. Gutnik, M. B. Haick, C. Ho, M. Koplow, J. Mangold, S. Robinson, M. Rosa, M. Schwartz, C. Sims, H. Stoffregen, A. Waterbury, E. S. Leland, T. Pering, and P. K. Wright, "Wireless Sensor Networks for Home Health Care," in *Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW'07)*, 2007.
- [14] R. C. Alvarez, "The promise of e-Health - a Canadian perspective.," *eHealth Int.*, vol. 1, no. 1, p. 4, Sep. 2002.
- [15] B. A. Majeed and S. J. Brown, "Developing a well-being monitoring system — Modeling and data analysis techniques," *Appl. Soft Comput.*, vol. 6, pp. 384–393, 2006.
- [16] H. Yoshikawa, "Manufacturing and the 21st Century- Intelligent Manufacturing Systems and the Renaissance of the Manufacturing Industry," *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 213, no. 2, pp. 195–213, 1995.
- [17] J. Christensen, "Holonc Manufacturing Systems: Initial Architecture and Standards Directions," in *Holonc Manufacturing Systems*, 1994, no. March, pp. 1–20.
- [18] P. Valckenaers, H. Van Brussel, P. Verstraete, and B. Saint Germain, "Schedule execution in autonomic manufacturing execution systems," *J. Manuf. Syst.*, vol. 26, no. 2, pp. 75–84, Apr. 2007.
- [19] P. Leitão, "Agent-based distributed manufacturing control: A state-of-the-art survey," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 22, no. 7, pp. 979–991, Oct. 2009.
- [20] V. Mařík and J. Lažanský, "Industrial applications of agent technologies," *Control Eng. Pract.*, vol. 15, no. 11, pp. 1364–1380, Nov. 2007.
- [21] M. Ulieru, "Emerging Computing for the Industry : Agents , Self-Organization and Holonic Systems," in *Workshop on Industrial Informatics, IECON*, 2004, pp. 2–6.
- [22] P. Kostkova, J. Mani-Saada, G. Madle, and J. Weinberg, "Agent-Based Up-to-date Data Management in National Electronic Library for Communicable Disease," in *Applications of Software Agent Technology in the Health Care Domain*, A. Moreno and J. L. Nealon, Eds. Birkhäuser Verlag, Basel, Switzerland: Birkhäuser Basel, 2003, pp. 105–124.
- [23] R. Cruz-Correira, P. Vieira-Marques, P. Costa, A. Ferreira, E. Oliveira-Palhares, F. Araújo, and A. Costa-Pereira, "Integration of hospital data using agent technologies - A case study," *AI Commun.*, vol. 18, pp. 191–200, 2005.
- [24] M. Rodríguez, J. Favela, A. Preciado, and A. Vizcaíno, "Agent-based ambient intelligence for healthcare," *AI Commun.*, vol. 18, no. 3, pp. 201–216, 2005.

- [25] S. Singh, B. Ikhwan, F. Haron, and G. Y. Yong, "Architecture of agent-based healthcare intelligent assistant on grid environment," in *Parallel and Distributed Computing: Applications and Technologies*, vol. 3320, K.-M. Liew, H. Shen, S. See, W. Cai, P. Fan, and S. Horiguchi, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2005, pp. 58–61.
- [26] H. González-Vélez, M. Mier, M. Julià-Sapé, T. N. Arvanitis, J. M. García-Gómez, M. Robles, P. H. Lewis, S. Dasmahapatra, D. Dupplaw, A. Peet, C. Arús, B. Celda, S. Huffel, and M. Lluch-Ariet, "HealthAgents: distributed multi-agent brain tumor diagnosis and prognosis," *Appl. Intell.*, vol. 30, no. 3, pp. 191–202, Sep. 2007.
- [27] D. Isern and A. Moreno, "Computer-based execution of clinical guidelines: a review.," *Int. J. Med. Inform.*, vol. 77, no. 12, pp. 787–808, Dec. 2008.
- [28] S. Kirn, C. Anhalt, H. Krcmar, and A. Schweiger, "Agent. Hospital—Health Care Applications of Intelligent Agents," in *Multiagent Engineering - Theory and Applications in Enterprises, International Handbook on Information Systems*, Berlin-Heidelberg, 2006, pp. 199–220.
- [29] F. C. U. Cortes, A. Lopez-Navidad, J. Vazquez-Salceda, F. Vazquez, S. Lopes, D. Busquets, M. Nicolas, "UCTx: A Multi-Agent approach to model a Transplant Coordination Unit," *J. Appl. Intell.*, vol. 20, no. 1, pp. 59–70, 2004.
- [30] L. Braun, F. Wiesman, J. van der Herik, and A. Hasman, "Agent support in medical information retrieval," in *3rd Workshop on Agents Applied in Health Care*, 2005.
- [31] M. I. Bagues, J. Bermudez, A. Burgos, A. Goni, A. Illarramendi, J. Rodriguez, and A. Tablado, "An Innovative System that Runs on a PDA for a Continuous Monitoring of People," in *19th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS'06)*, 2006, pp. 151–156.
- [32] V. G. Koutkias, I. Chouvarda, and N. Maglaveras, "A multiagent system enhancing home-care health services for chronic disease management.," *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.*, vol. 9, no. 4, pp. 528–37, Dec. 2005.
- [33] L. Cervantes, Y. S. Lee, H. Yang, S. H. Ko, and J. Lee, "Agent-based intelligent decision support for the home healthcare environment," in *1st International Conference on Advances in Hybrid InformationTechnology*, 2007, pp. 414–424.
- [34] D. Isern, A. Moreno, D. Sánchez, Á. Hajnal, G. Pedone, and L. Z. Varga, "Agent-based execution of personalised home care treatments," *Appl. Intell.*, vol. 34, no. 2, pp. 155–180, Jun. 2009.
- [35] D. Isern, D. Sánchez, and A. Moreno, "Agents applied in health care: A review.," *Int. J. Med. Inform.*, vol. 79, no. 3, pp. 145–66, Mar. 2010.

- [36] A. Moreno, D. Ria, and A. Valls, “Agent-based alarm management in a Palliative Care Unit * ,” in *3rd Workshop on Agents Applied in Healthcare*, 2004.
- [37] F. Bergenti and A. Poggi, “Multi-Agent Systems for e-Health : Recent Projects and Initiatives,” in *10th Int. Workshop on Objects and Agents*, 2009.
- [38] A. Koestler, *The Ghost in the Machine*. London: Arkana Books, 1989.
- [39] B. Huang, H. Gou, W. Liu, Y. Li, and M. Xie, “A framework for virtual enterprise control with the holonic manufacturing paradigm,” *Comput. Ind.*, vol. 49, no. 3, pp. 299–310, Dec. 2002.
- [40] J.-C. Huet, “Proposition d’ une méthodologie de réingénierie pour le contrôle par le produit de systèmes manufacturiers : Application au circuit du médicament d’ un hôpital,” Université BLAISE PASCAL - Clermont II, 2011.
- [41] M. A. Flores Muñoz, *Ahí Duele*. Terracota, 2009, p. 192.
- [42] R. M. Rangayyan, *Biomedical Signal Analysis. A Case-Study Approach*. Calgary: Wiley-Interscience, 2002.
- [43] E. Kaniusas, “Biomedical Signals and Sensors I,” in in *Biomedical Signals and Sensors I*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 1–21.
- [44] P. L. Airbe Zabaleta, A. Andrés Morist, M. F. Arcocha Torres, and X. Arrastio López, *Atlas de Electrocardiografía*. 2008, pp. 1–409.
- [45] R. (Departamento de E. / U. de A. Barea Navarro, “Electroencefalografía,” in in *Instrumentación Biomédica*, .
- [46] L. Tay, (Departamento de M. / U. de Chile), “MEDICINA PRE-HOSPITALARIA,” in in *Sistemas de Salud*, Santiago, 2003.
- [47] “Sistema de Atención Médica de Urgencia - Octava Región Área Costa.” [Online]. Available: <http://ssconce.redsalud.gob.cl/?p=4558>. [Accessed: 10-Mar-2014].
- [48] J. Banks, *Discrete-Event System Simulation*, Fourth Edi. Pearson Prentice Hall, 2004, p. 608.
- [49] K. Community, “<http://www.idef.com/idef0.htm>,” 2010. .

Anexo A: Claves del SAMU Costa Concepción

COMUNICACIÓN

QAF : Atento	QSO : Llamado General
QAP : Queda en Espera	QTR : Horario
QTH : Lugar	RPT : Repita
QTC : Número de Procedimiento	QSL : Mensaje Recibido
QRX : Tiempo estimado de Llegada	QTA : Procedimiento Nulo

GENERAL

0-0 : Cadáver	
0-30 : Preinforme a Médico Regulador	
10-10 : Traslado a ...	
10-4 : Todo Bien, Si o Afirmativo	
10-20 : Solicito otro Móvil de Apoyo	
10-30 : Solicito Móvil Mayor Complejidad	
10-40 : Solicito Apoyo de Carabineros	
20-20 : Queda en el lugar por Médico Regulador	
30-30 : Puede trasladarse por sus propios medios	
40-40 : Rechaza traslado	
4-20 : Disponible	
601 : Traslado de Paciente	640 : Móvil Fuera de Servicio Transitorio
620 : Abastecimiento de Combustible	650 : Móvil Fuera de Servicio

PERSONAL

MR : Médico Regulador
ROMEO : Reanimador
PM : Paramédico
CHARLIE : Conductor
MÓVIL : Ambulancia SAMU
Z1 : Enfermera Supervisora
Z2 : Enfermera Coordinadora
Z3 : Enfermera de Turno AP

TIPOS DE URGENCIA

- 100 : Pediátrica
- 200 : Médica
- 300 : Atropello
- 301 : Colisión con o sin Atrapamiento
- 302 : Herido con Arma Blanca, de Fuego u otra
- 303 : Otro Incidente Traumatológico
- 304 : Quemados
- 400 : Obstétrica
- 500 : Otra Urgencia no Contemplada
- 501 : Asfixia por Inmersión
- 502 : Intoxicaciones y Envenenamientos
- 505 : Intoxicación Ingesta de Alcohol
- 700 : Interconsultas
- 800 : Simuladores - Histeria
- 900 : Enlace



Anexo B: Distribuciones de Probabilidad

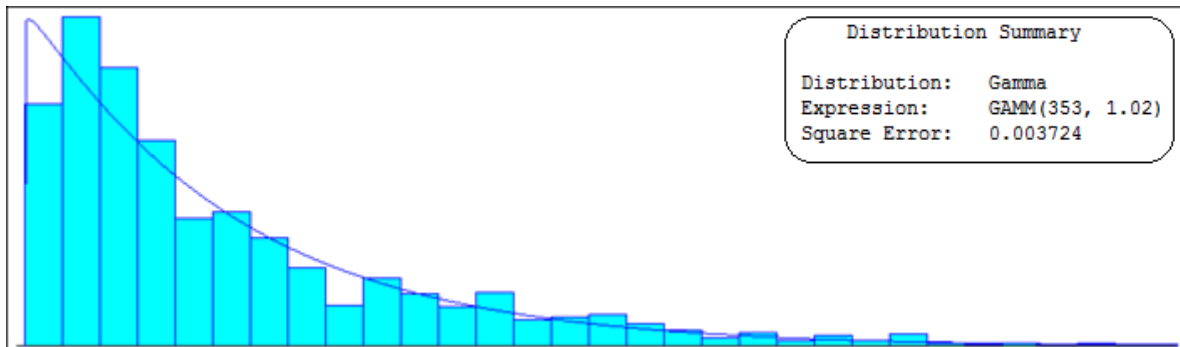


Fig. 0.1 Distribución Tiempo entre Llamadas para SAMU Avanzado Accidentes.

Fuente: Elaboración Propia.



Fig. 0.2 Distribución Tiempo entre Llamadas para SAMU Avanzado Clínica.

Fuente: Elaboración Propia.

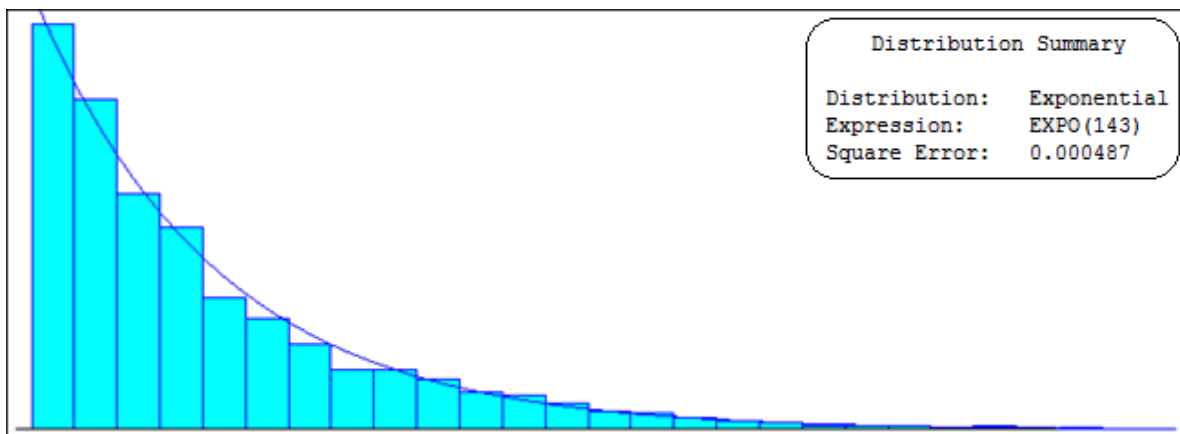


Fig. 0.3 Distribución Tiempo entre Llamadas para SAMU Básico Accidentes.

Fuente: Elaboración Propia.

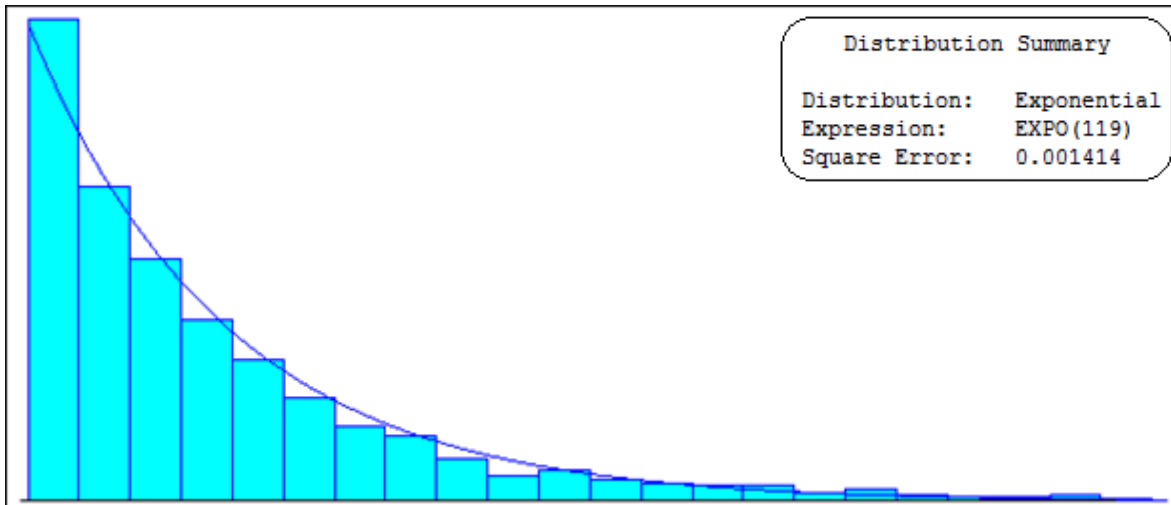


Fig. 0.4 Distribución Tiempo entre Llamadas para SAMU Básico Clínica.

Fuente: Elaboración Propia.

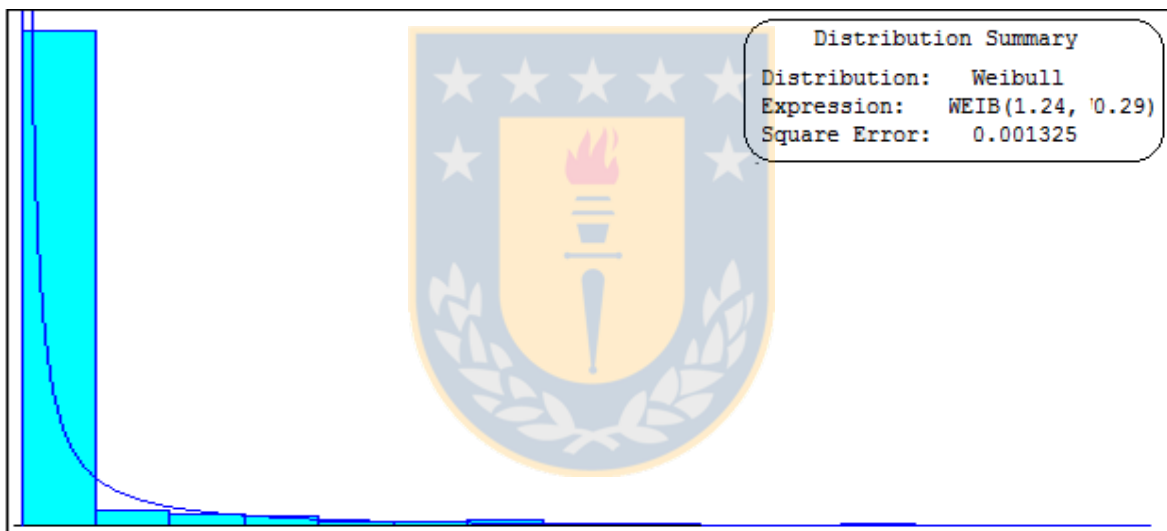


Fig. 0.5 Distribución Tiempo de Operadora: SAMU Avanzado Accidentes.

Fuente: Elaboración Propia.

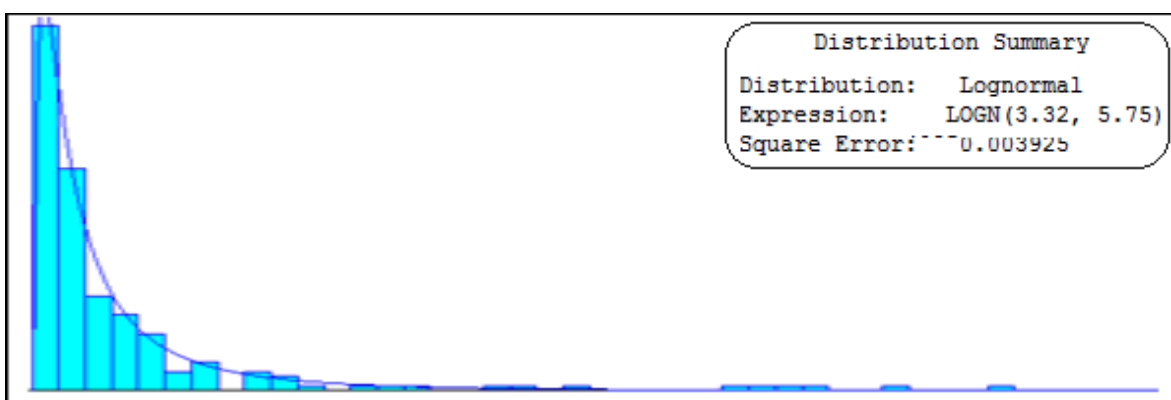


Fig. 0.6 Distribución Tiempo de Operadora: SAMU Avanzado Clínica.

Fuente: Elaboración Propia.

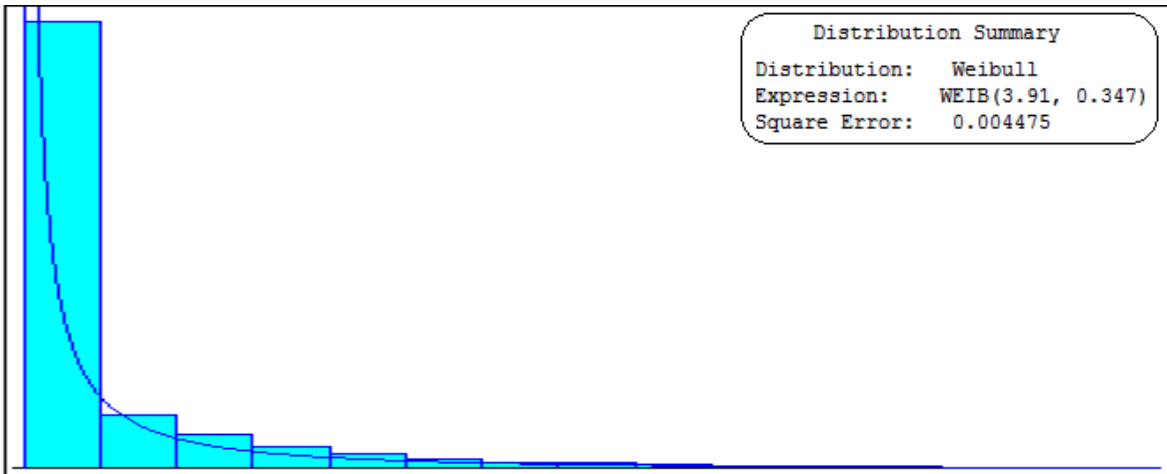


Fig. 0.7 Distribución Tiempo de Operadora: SAMU Básico Accidentes.

Fuente: Elaboración Propia.

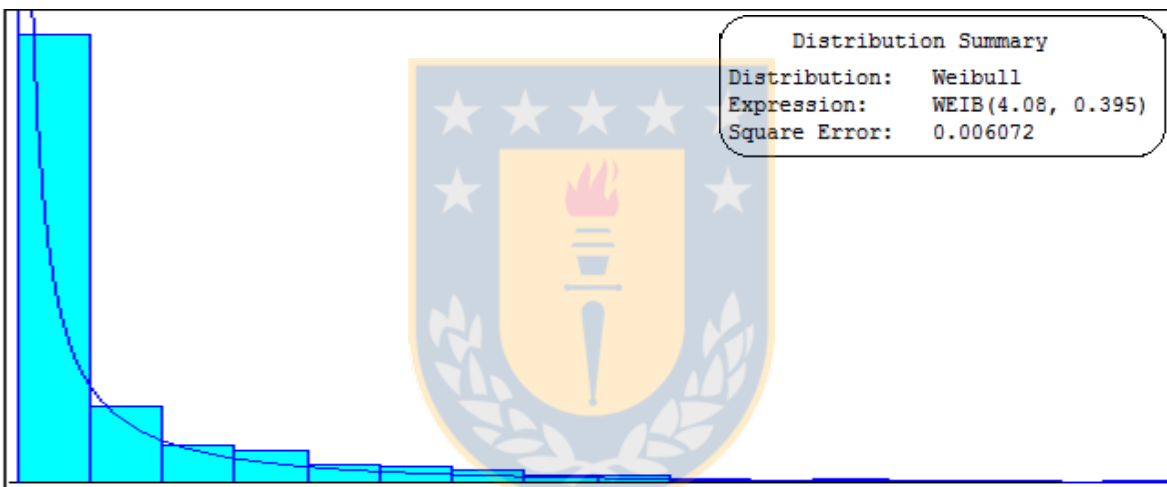


Fig. 0.8 Distribución Tiempo de Operadora: SAMU Básico Clínica.

Fuente: Elaboración Propia.

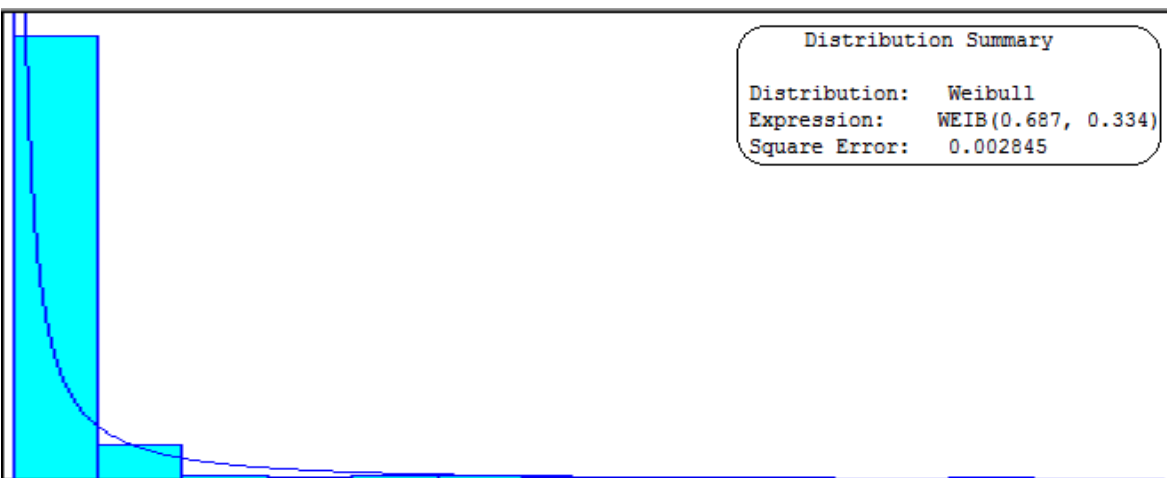


Fig. 0.9 Distribución Tiempo de Despacho: SAMU Avanzado Accidentes.

Fuente: Elaboración Propia.

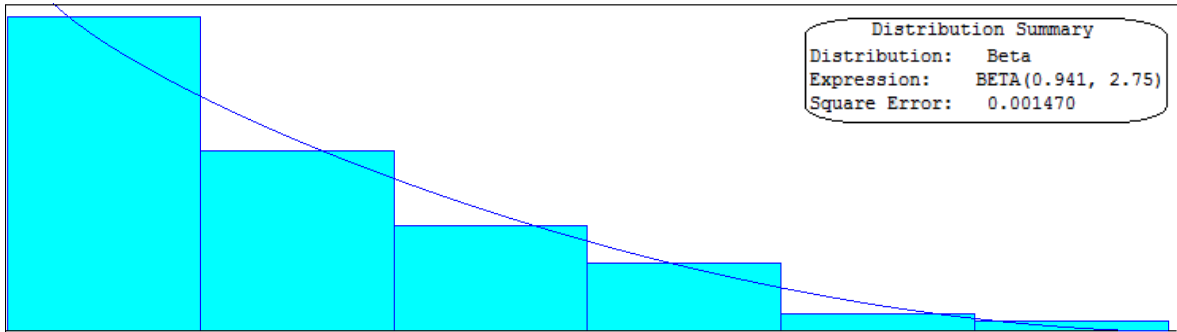


Fig. 0.10 Distribución Tiempo de Despacho: SAMU Avanzado Clínica.

Fuente: Elaboración Propia.

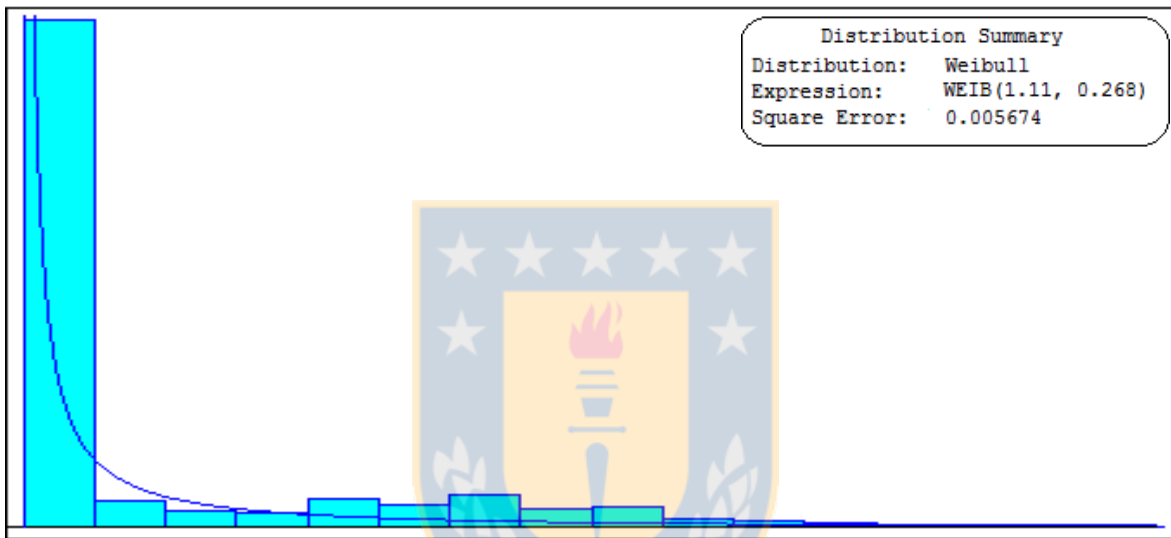


Fig. 0.11 Distribución Tiempo de Despacho: SAMU Básico Accidentes.

Fuente: Elaboración Propia.

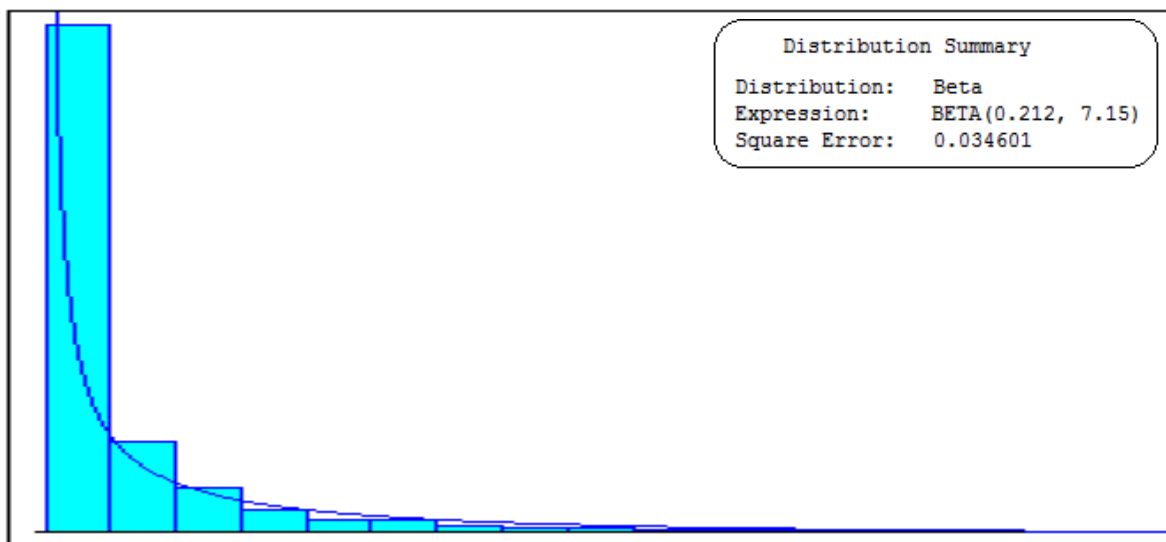


Fig. 0.12 Distribución Tiempo de Despacho: SAMU Básico Clínica.

Fuente: Elaboración Propia.

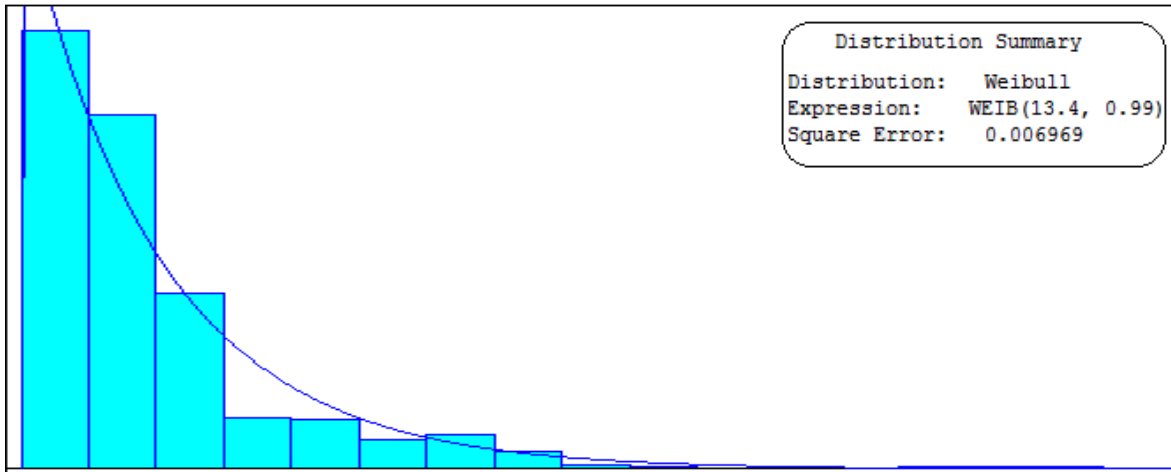


Fig. 13 Distribución Tiempo de Traslado 1: SAMU Avanzado Accidentes.

Fuente: Elaboración Propia.

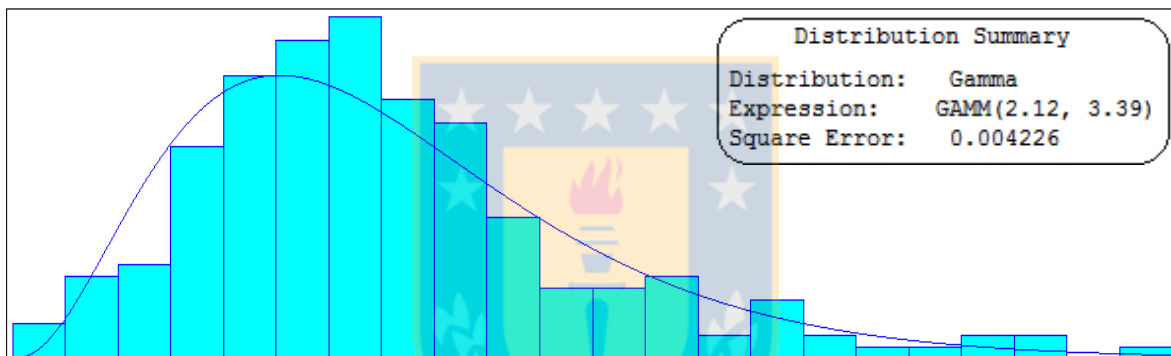


Fig. 14 Distribución Tiempo de Traslado 1: SAMU Avanzado Clínica.

Fuente: Elaboración Propia.

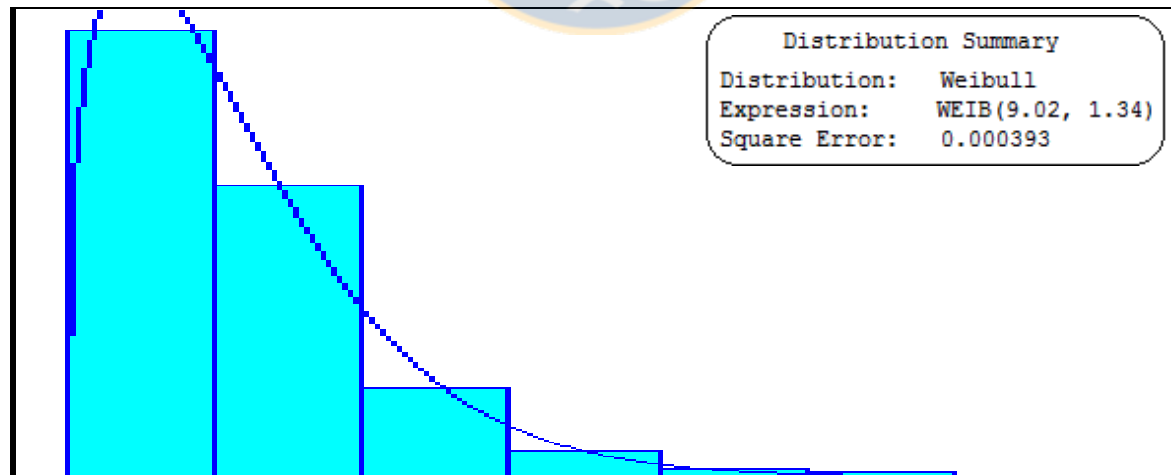


Fig. 15 Distribución Tiempo de Traslado 1: SAMU Básica Accidente.

Fuente: Elaboración Propia.

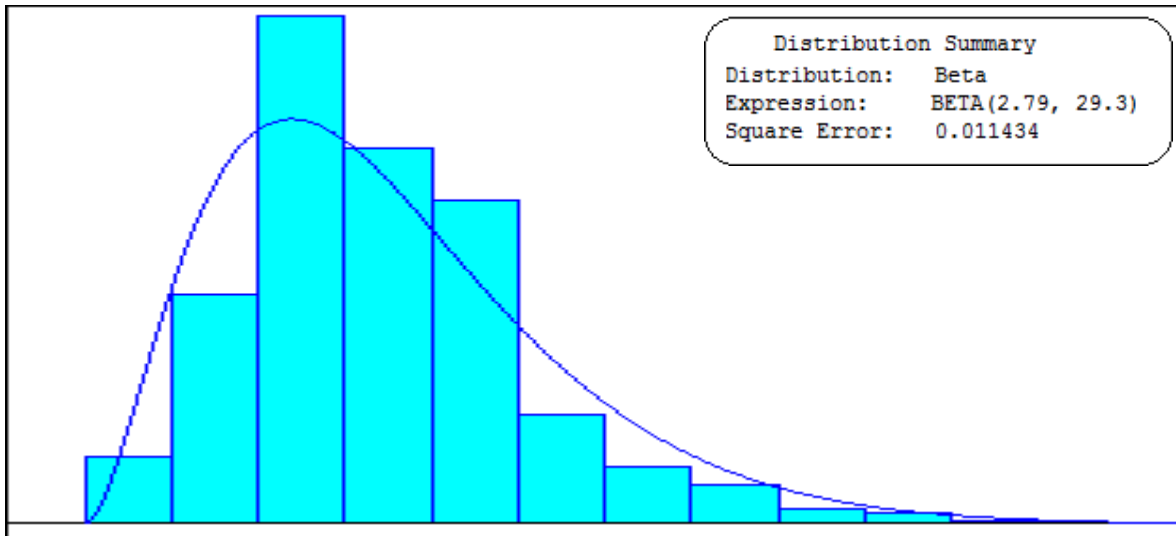


Fig. 16 Distribución Tiempo de Traslado 1: SAMU Básica Clínica.

Fuente: Elaboración Propia.

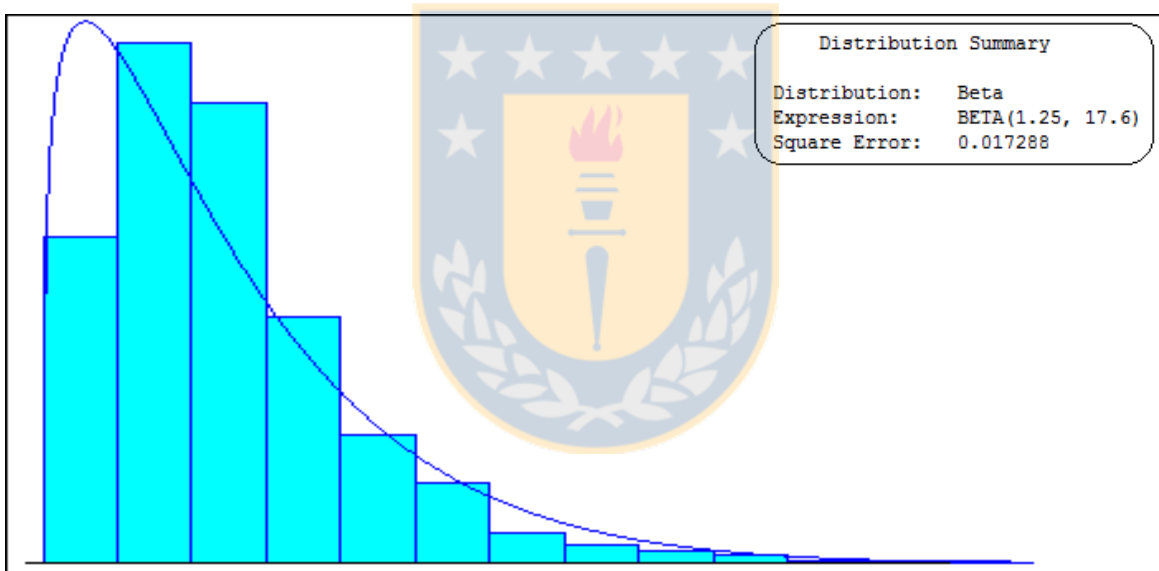


Fig. 17 Distribución Tiempo de Estabilización: SAMU Avanzado Accidentes

Fuente: Elaboración Propia.

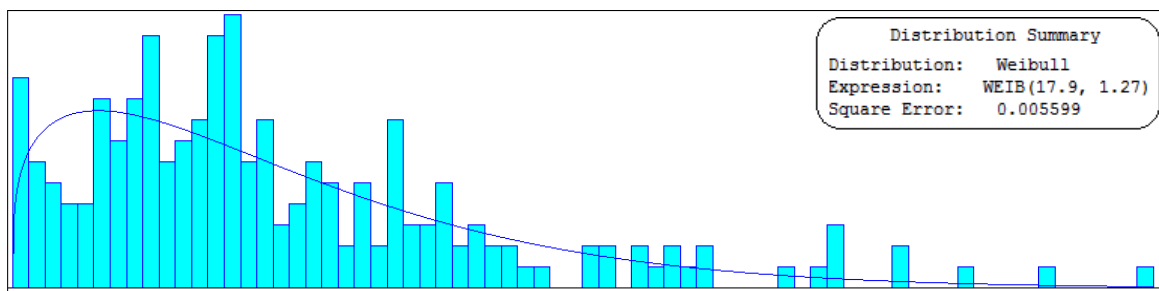


Fig. 18 Distribución Tiempo de Estabilización: SAMU Avanzado Clínicas.

Fuente: Elaboración Propia.

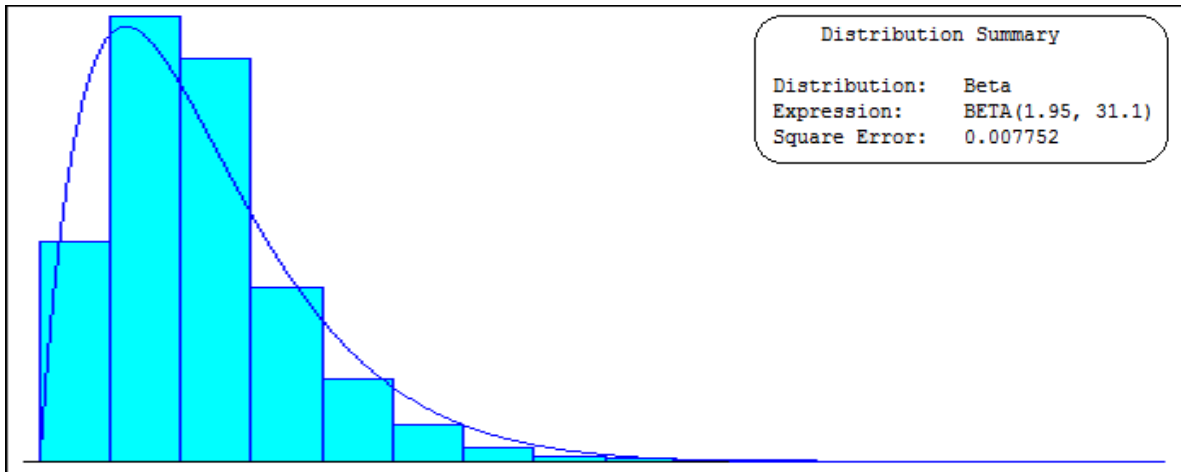


Fig. 19 Distribución Tiempo de Estabilización: SAMU Básico Accidentes.

Fuente: Elaboración Propia.

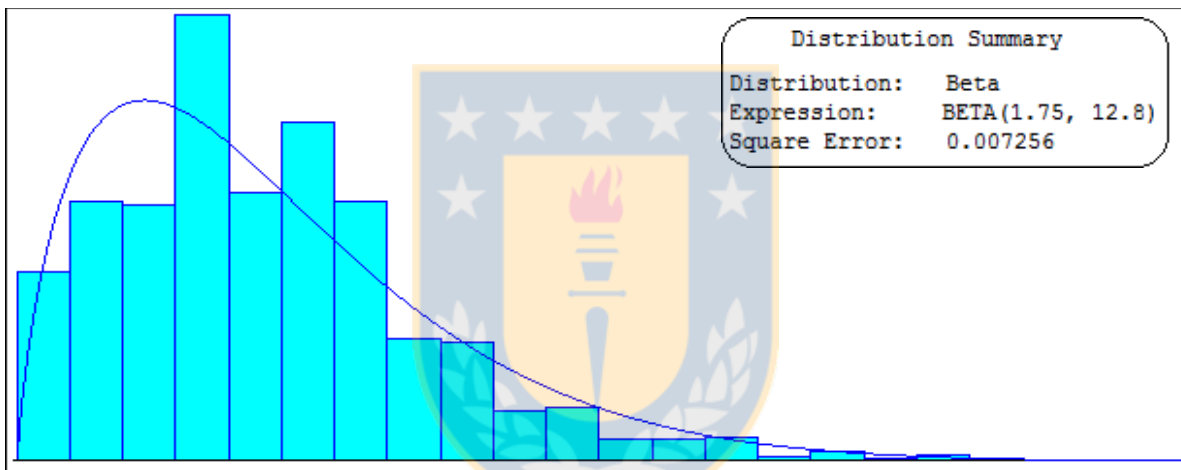


Fig. 20 Distribución Tiempo de Estabilización: SAMU Básico Clínica.

Fuente: Elaboración Propia.

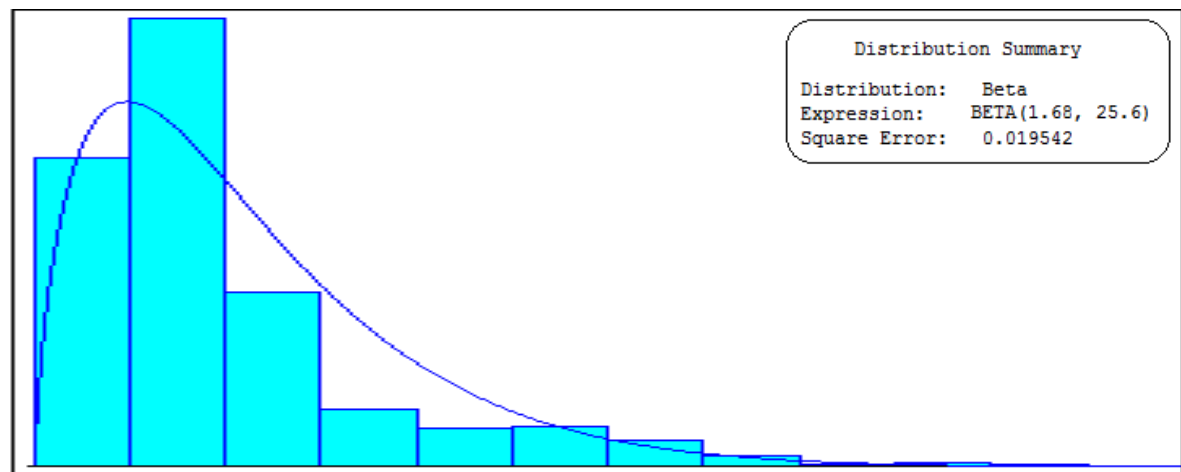


Fig. 21 Distribución Tiempo de Traslado 2: SAMU Avanzado Accidentes.

Fuente: Elaboración Propia.

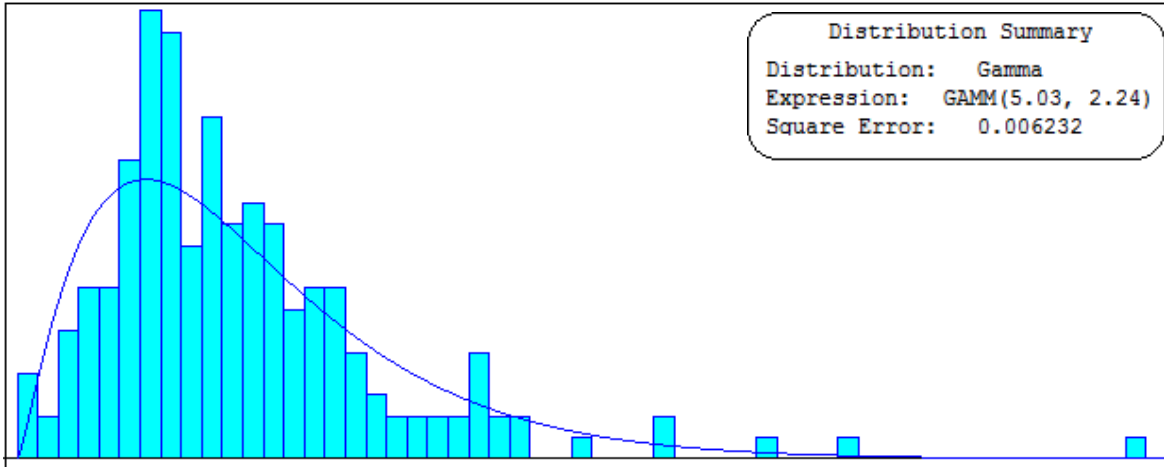


Fig. 22 Distribución Tiempo de Traslado 2: SAMU Avanzado Clínicas.

Fuente: Elaboración Propia.

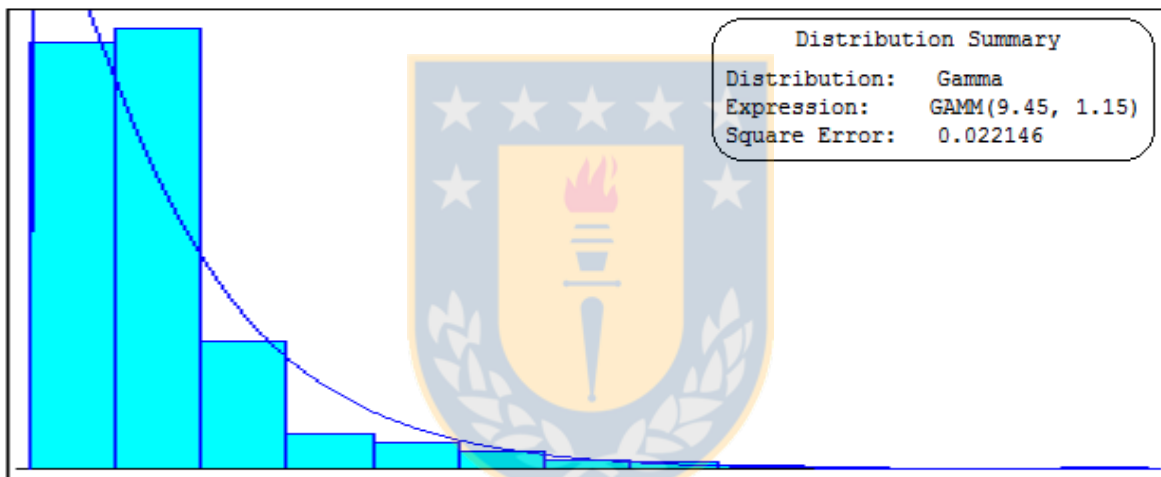


Fig. 23 Distribución Tiempo de Traslado 2: SAMU Básico Accidentes.

Fuente: Elaboración Propia.

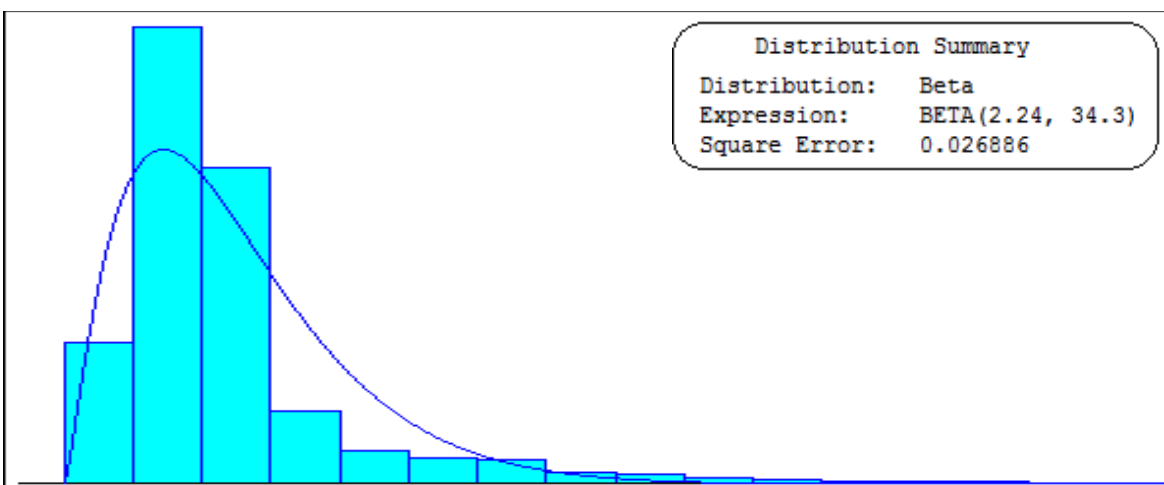


Fig. 24 Distribución Tiempo de Traslado 2: SAMU Básico Clínica.

Fuente: Elaboración Propia.

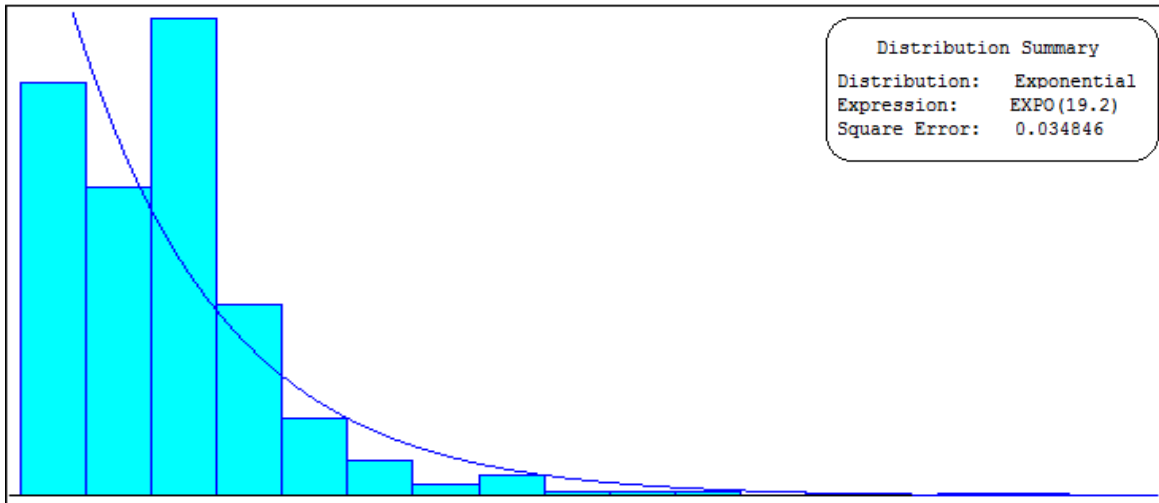


Fig. 25 Distribución Tiempo de Recepción: SAMU Avanzado Accidentes.

Fuente: Elaboración Propia.

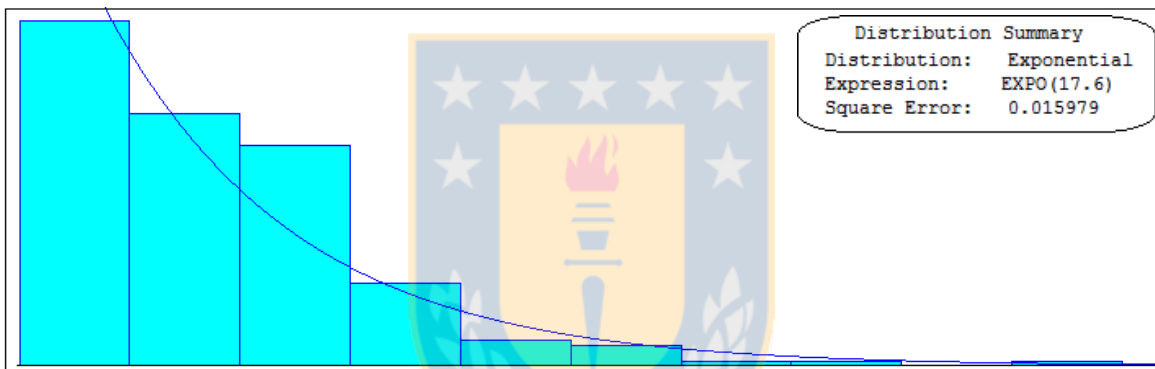


Fig. 26 Distribución Tiempo de Recepción: SAMU Avanzado Clínicas.

Fuente: Elaboración Propia.

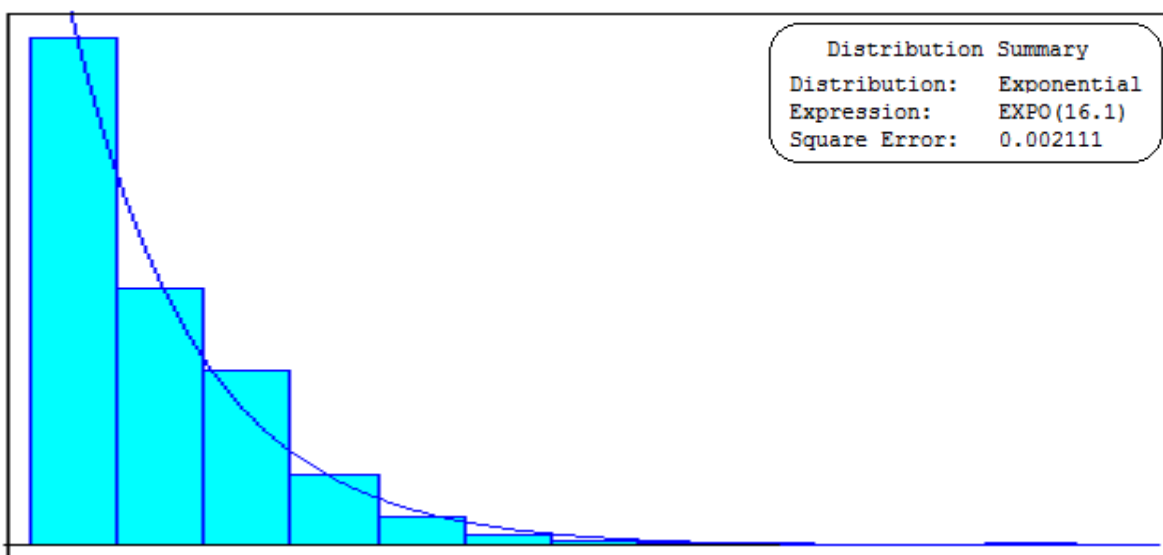


Fig. 27 Distribución Tiempo de Recepción: SAMU Básica Accidentes.

Fuente: Elaboración Propia.

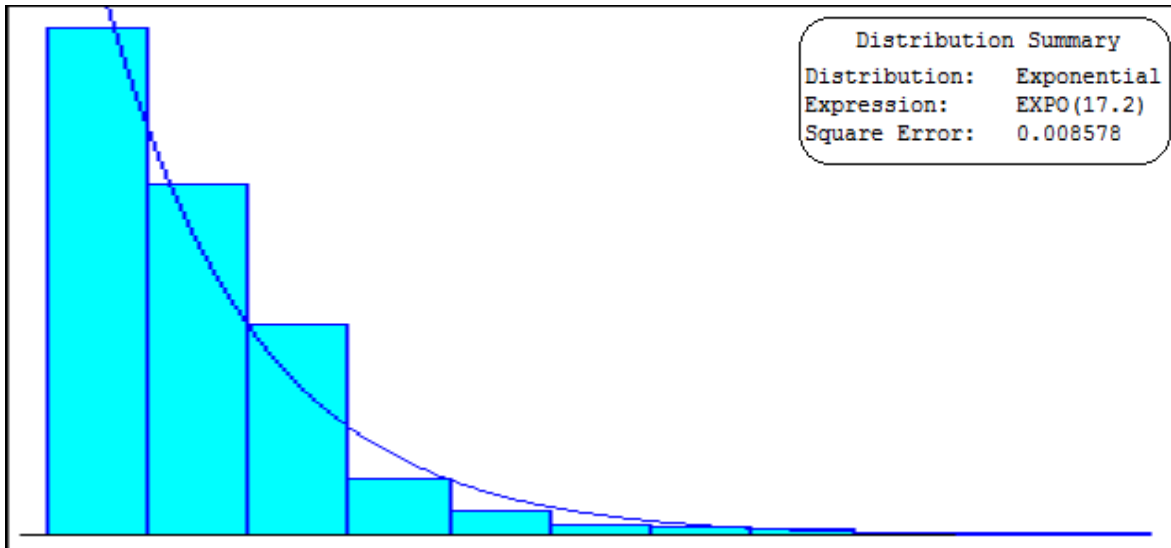


Fig. 28 Distribución Tiempo de Recepción: SAMU Básica Clínica.

Fuente: Elaboración Propia.

