



**Universitat Autònoma de Barcelona**  
**Escola d'Enginyeria**  
**Departament d'Arquitectura de Computadors i**  
**Sistemes Operatius**

**Simulación del Servicio de Urgencias Hospitalarias: una aproximación  
computacional desarrollada mediante técnicas de Modelado Orientadas  
al Individuo (Mol)**

Memoria presentada por Manuel Taboada González para optar al grado de Doctor por la Universidad Autónoma de Barcelona. Este trabajo ha sido desarrollado en el Departamento de Arquitectura de Computadores y Sistemas Operativos bajo la dirección del Dr. Emilio Luque Fadón

Barcelona, Mayo de 2.013



**Simulación del Servicio de Urgencias Hospitalarias: una aproximación  
computacional desarrollada mediante técnicas de Modelado Orientadas  
al Individuo (Mol)**

Tesis Doctoral presentada por Manuel Taboada González para optar al grado de Doctor por la Universidad Autónoma de Barcelona. Este trabajo ha sido desarrollado en el Departamento de Arquitectura de Computadores y Sistemas Operativos de la Escuela de Ingenierías de la Universidad Autónoma de Barcelona, dentro del Programa de Doctorado en Computación de Altas Prestaciones bajo la dirección del Dr. Emilio Luque Fadón.

Barcelona, Mayo de 2.013

**Autor de la Tesis**

**Manel Taboada González**

**Director de Tesis**

**Dr. Emilio Luque Fadón**



*A Laia y Elisa por su paciencia e incondicional apoyo*



## Agradecimientos

Llegar a este punto del trabajo de investigación representa la culminación de un arduo trabajo que comenzó a finales de 2.008. Para disponer del tiempo que requería su desarrollo, fue necesario recolocar todo un poco, y dejar de dedicar tiempo a amigos, familiares, y muchísimas personas queridas y apreciadas.....seguro que este ha sido uno de los sacrificios más importantes, para mí por supuesto, pero también para ellos. Así que es de justicia dedicarles un lugar protagonista en el documento que recoge el resultado de todo el trabajo hecho. Y qué mejor que hacerlo en el punto de agradecimientos.

Así en primer lugar quiero agradecerles a todos mis amigos (de infancia, de facultad, de la Junior Chamber International, al grupo de Innovación docente CAES, etc.) que hayan sabido entender mis ausencias (así lo espero). A partir de ahora podré volver a compartir con ellos esos momentos lúdicos y de disfrute en los que hace años que no participo.

A mis compañeros de las Escuelas Universitarias Gimbernat i Tomás Cerdá, a todos en general, pero muy especialmente a los de la Escuela Universitaria de Informática. Este gran equipo ha hecho posible que en muchos momentos pudiera desempeñar mi labor desde la distancia, sin que se notara. Y en momentos de tensión han tenido la paciencia de aguantar mis “prontos”. Gracias Francesc, Chusi y Nuri. Y gracias también a ti David, por la generosidad de hacer hueco en tu tiempo para escuchar mis penas. Esas largas conversaciones mantenidas en la planta 3 han sido realmente terapéuticas.

A mis hermanos, Rosa, Luis, Jordi y Álex, y como no a mis sobrinos. También ellos han sido víctimas del tiempo que no les he podido dedicar. A partir de ahora deseo que todo vuelva a ser como antes.

A mis padres, Manuel y M<sup>a</sup> Digna, quienes no llegan a imaginarse cuanto les debo. Gracias por la mejor de las herencias que me habéis dado, enseñarme que sólo con esfuerzo se consigue lo que uno persigue, y también por criarme a mí y a mis hermanos con cariño, humildad y bondad. Sois mi referente en la educación que intento dar a mi hija cada día. Espero hacerlo con vuestro acierto.

A mis segundos padres, Manuel y Elisa. Con Manuel sólo pude compartir el primer año de este largo viaje. Seguro que desde el lugar especial que ocupa en el cielo me ha estado observando y me ha enviado energía en los muchos momentos en los que la necesitaba. Elisa sí que ha estado ahí durante todo el trayecto, mirando en silencio sin entender que trabajara durante tantos fines de semana, festivos y vacaciones. Pero sobre todo ha cubierto mis ausencias como padre y como marido.

Dos personas muy especiales en el trabajo han sido Hayden y Eduardo. Con Hayden iniciamos el viaje en noviembre de 2.008, aunque después cambió de ruta. Vivimos unos meses muy especiales. Y con Eduardo quién ocupó el lugar de Hayden, y con el que durante estos 4 años, además de investigar, hemos vivido juntos alegrías, penas,

hemos discutido de futbol, de política.....no sé si lo sabes, pero has pasado a ser uno más de mis hermanos.

A Emilio, mi director, mentor, y me atrevo a decir amigo. Por todo.....por animarme a dar el paso adelante al principio y tu habilidad en convencerme a iniciar el largo y duro viaje. Realmente no lo tuviste fácil. También por tu lucidez para ayudarme a encontrar el camino en los momentos de desorientación, que los ha habido. Y finalmente por tu inconformismo, que ha hecho posible que el trabajo haya dado los frutos que recoge esta memoria, y haya tenido el reconocimiento que ha tenido y seguro seguirá teniendo. Gracias por pensar en mí para esta agradable y a la vez dura aventura.

Y finalmente un agradecimiento muy especial a mis princesas, Laia y Eli, por su paciencia, por su apoyo en los momentos de debilidad y ofuscación, y sobre todo por su amor incondicional, que me daba la energía que necesitaba para seguir remando. Vosotras tenéis material para escribir un libro que relate lo que supone vivir en la sombra la elaboración de una Tesis Doctoral. A Laia por aceptar que su “papi” no haya vivido con la intensidad suficiente cuatro largos años de su vida (estos 4 años representan un poco menos de la mitad de la vida que lleva vivida). Y a Eli por tirar adelante una casa teniendo que cubrir el vacío que dejaba un padre con dedicación parcial. Sé que no ha sido nada fácil, y que tenías tantas o más ganas que yo en el que viaje llegara a su fin. No tengo claro que pueda recuperar el tiempo perdido, pero en todo caso prometo esforzarme y hacer todo lo humanamente posible por recompensarte como te mereces.



## RESUMEN

La saturación de los servicios de urgencias hospitalarias (SUH) es un problema que comparten los sistemas sanitarios de todo el mundo. El Departamento de Urgencias es una de las áreas más complejas y dinámicas de un hospital. La planificación y gestión de sus recursos es compleja, pues reciben una demanda de servicio no lineal, que varía dependiendo de la hora del día, el día de la semana o el mes del año.

No existen modelos estándares que describan el comportamiento de sistemas complejos, pero estos comparten características en común. La Simulación se convierte en una herramienta para el modelado de este tipo de sistemas, permitiendo dar respuesta a preguntas de tipo “qué pasaría si...” (por ejemplo, en caso de una pandemia concreta, para explorar cómo afectan combinaciones alternativas de profesionales del SUH sobre el número de pacientes atendidos), así como para encontrar respuesta a preguntas del estilo “cuál es la mejor opción...”, propias de objetivos de optimización (por ejemplo cual es la combinación de profesionales que permite minimizar el tiempo de estancia de los pacientes en el SUH, sujeto a restricciones presupuestarias y de disponibilidad de personal).

El objetivo de este trabajo de investigación ha sido diseñar y desarrollar un modelo y su simulación aplicando técnicas de Modelado Orientado a Individuos (MoI) que puedan ser utilizados por los responsables de los servicios de urgencias para tomar las decisiones operativas adecuadas al disponer, a través del simulador, de la información necesaria. En el modelo y simulación desarrollados todas las reglas afectan a los agentes que los forman, de manera que el comportamiento del sistema emerge como resultado de las acciones e interacciones de dichos agentes. Dicho modelo describe la dinámica compleja que se encuentra en un SUH, en el que los diferentes individuos y otros elementos son representados en forma de agentes. Se han identificado 2 tipos de agentes: 1) agentes activos, que representan a las personas implicadas en el servicio (pacientes, personal de admisión, enfermeras, médicos, etc); 2) agentes pasivos, que representan servicios y otros sistemas reactivos, como los laboratorios, el sistema informático, etc.

El comportamiento de los agentes activos ha sido modelado mediante “máquinas de estado de Moore”, considerando las variables que permiten definir los estados en los que se encuentra el individuo durante su estancia en el servicio de urgencias. El agente cambia de estado al recibir un input de otro agente, en caso de que modifique el valor de una o más de dichas variables. Para modelizar las interacciones entre agentes se ha incluido un modelo de comunicación que incluye los Inputs que reciben y los outputs que generan los agentes, y el entorno físico en el que los agentes se mueven e interactúan. Dicho entorno incluye las diferentes áreas del SUH (admisión, salas de triaje, las diferentes salas de espera, salas de atención, etc).

La herramienta puede ser utilizada en diferentes servicios de urgencias después de un proceso de sintonización dividido en 2 etapas, que debe ser realizado previamente a su uso. Para realizar dicho proceso resulta indispensable el uso de Computación de Altas Prestaciones y la aplicación de técnicas de paralelización.



## RESUM

La saturació dels serveis d'urgències hospitalaris (SUH) és un problema que comparteixen els sistemes sanitaris de tot el món. El Departament d'Urgències és una de les àrees més complexes i dinàmiques d'un hospital. La planificació i gestió dels seus recursos és complexa, ja que reben una demanda de servei no lineal, que varia depenent de l'hora del dia, el dia de la setmana o el mes de l'any.

No hi ha models estàndards que descriguin el comportament de sistemes complexos, però aquests tenen característiques en comú. La Simulació es converteix en una eina per al modelatge d'aquest tipus de sistemes, permetent donar resposta a preguntes de tipus "què passaria si ..." (per exemple, en cas d'una pandèmia concreta, per explorar com afecten combinacions alternatives de professionals del SUH sobre el nombre de pacients atesos), així com per trobar resposta a preguntes de l'estil "quina és la millor opció ...", pròpies d'objectius d'optimització (per exemple quina és la combinació de professionals que permet minimitzar el temps d'estada de els pacients en el SUH, subjecte a restriccions pressupostàries i de disponibilitat de personal).

L'objectiu d'aquest treball de recerca ha estat dissenyar i desenvolupar un model i la seva simulació aplicant tècniques de Modelatge Orientat a Individus (Moi) que puguin ser utilitzats pels responsables dels serveis d'urgències per prendre les decisions operatives adequades en disposar, a través del simulador, de la informació necessària. En el model i simulació desenvolupats totes les regles afecten als agents que els formen, de manera que el comportament del sistema emergeix com a resultat de les accions i interaccions d'aquests agents. Aquest model descriu la dinàmica complexa que es troba en un SUH, en què els diferents individus i altres elements són representats en forma d'agents. S'han identificat 2 tipus d'agents: 1) agents actius, que representen les persones implicades en el servei (pacients, personal d'admissió, infermeres, metges, etc), 2) agents passius, que representen serveis i altres sistemes reactius, com els laboratoris, el sistema informàtic, etc.

El comportament dels agents actius ha estat modelat mitjançant "màquines d'estat de Moore", considerant les variables que permeten definir els estats en què es troba l'individu durant la seva estada en el servei d'urgències. L'agent canvia d'estat en rebre un input d'un altre agent, en cas que modifiqui el valor d'una o més d'aquestes variables. Per modelar les interaccions entre agents s'ha inclòs un model de comunicació que inclou els Inputs que reben i els outputs que generen els agents, i l'entorn físic en el qual els agents es mouen i interactuen. Aquest entorn inclou les diferents àrees del SUH (admissió, sales de triatge, les diferents sales d'espera, sales d'atenció, etc).

L'eina pot ser utilitzada en diferents serveis d'urgències després d'un procés de sintonització dividit en 2 etapes, que ha de ser realitzat prèviament al seu ús. Per realitzar aquest procés és indispensable l'ús de Computació d'Altes Prestacions i l'aplicació de tècniques de paral·lelització.



## ABSTRACT

Overcrowding of hospital emergency departments (ED) is a phenomena shared by health systems around the world. The ED may well be one of the most complex and fluid healthcare systems that exists. The resource planning in ED is complex because its activity is not linear, and it varies depending on time, day of week and season.

There are no standard models to describe a complex system, but they share many common traits. Simulation becomes an important tool for modeling this kind of systems, enabling to answer questions like “what happens if?” (e.g., in case of a specific pandemic, to explore how the composition of ED staff members influences the number of patients attended in a period of time) and to find the answer to questions such as “which is the best for ...?” (for instance the number of staff that leads to minimize the “Length of Stay” of patients, constrained by the availability of budget and number of healthcare staff).

The goal of the research has been to develop an Agent-Based model and a simulation that, used as decision support system (DSS), aids the managers of the ED to allow additional knowledge of patient admission scheduling, physician staff, resource optimization, and decreased patient waiting time, amongst other situations. In the designed ED Model all rules within the model concern agents, no higher level behavior is modeled. The System behavior emerges as a result of local level actions and interactions. Such model describes the complex dynamics found in an ED, representing each individual and entity as an agent. Two distinct kinds of agents have been identified, active and passive. Active agents represent the persons involved in the ED such as patients and ED Staff (admission staff, nurses, doctors, etc). Passive agents represent services and other reactive systems, such as the information technology (IT) infrastructure or services used for performing tests.

State machines are used to represent the actions of each agent. This takes into consideration all the variables that are required to represent the many different states that such individual (a patient, a member of hospital staff, or any other role) may be in throughout the course of the time in a hospital emergency department. The change in these variables, invoked by an input from an external source, is modeled as a transition between states. The communication between individuals is modeled as the Inputs that agents receive and the Outputs they produce. In order to control the agent interaction, the physical environment in which these agents interact also has to be modeled, being sufficient do it as a series of interconnected areas, such as admissions, triage box, the different waiting rooms, or consultation suits.

The model and simulation can be applied is alternatives ED through a two steps tuning process with the Real System, that have to be carry out previously. This process requires the use of High Performance Computing and Parallelization techniques.

## Índice General

Capítulo 1. Introducción .....	1
1.1. Motivación	2
1.2. Objetivos	5
1.3. Metodología de desarrollo	6
1.4. Organización de la Tesis	11
Capítulo 2. Marco teórico y trabajos relacionados.....	13
2.1. Simulación social	14
2.2. Uso de la simulación en el ámbito de la salud	15
2.3. Modelos basados en agentes	20
2.3.1. Comparación de ABM con técnicas de modelización alternativas	22
2.3.2. Elementos y características de los Modelos Basados en Agentes	23
2.3.3. Representación de los agentes	24
2.3.4. Representación del entorno	25
2.3.5. La construcción de un modelo basado en agentes	26
Capítulo 3. Modelo conceptual y modelo computacional del servicio de urgencias hospitalarias.....	29
3.1. Introducción	30
3.2. Agentes activos	31
3.2.1. Pacientes	31
3.2.2. Acompañantes de pacientes	32
3.2.3. Personal de admisión	32
3.2.4. Enfermeras	33
3.2.5. Técnicos sanitarios	34
3.2.6. Médicos de urgencias	34
3.3. Máquinas de estado	35
3.4. Variables de estado	39
3.4.1. Observabilidad de las variables	39
3.4.2. Relación de variables y valores posibles	40
3.5. Agentes pasivos	45
3.5.1. Laboratorios	46
3.5.2. Hospital	47
3.5.3. Empresa de transporte sanitario	48
3.5.4. Sistema informático	49
3.5.5. Sistema de megafonía	52
3.5.6. Tubos neumáticos	53
3.6. Modelo de comunicación	54
3.7. Entorno	58
3.7.1. Zonas de interacción	60
3.8. El Simulador	68
3.8.1. Características de la versión simplificada del modelo implementada en el simulador	70
3.8.2. Inputs del simulador	71

3.8.3.	Funcionalidad resultante del simulador	73
3.8.4.	Configuración de los parámetros básicos de la simulación	75
3.8.5.	Carga de la configuración y ejecución de simulación	81
3.8.6.	Información de salida	82
3.8.7.	Transitorio y Estado Estacionario	84
3.9.	Verificación y validación del modelo conceptual y del simulador (modelo computacional)	84
3.9.1.	Pruebas de consistencia	86
3.9.2.	Validación del modelo	91
Capítulo 4. Metodología de sintonización propuesta.....		94
4.1.	Descripción general de la metodología de sintonización	95
4.1.1.	Etapas de ajuste de parámetros	96
4.1.2.	Evaluación de la capacidad predictiva	105
Capítulo 5. Validación experimental de la metodología de sintonización.....		108
5.1.	Descripción de la experimentación realizada	109
5.1.1.	Cantidad y tipología de recursos humanos	110
5.2.	Fase de ajuste de parámetros	111
5.2.1.	Ejecución de la simulación paramétrica y paralelización de ejecuciones con Netlogo	114
5.2.2.	Resumen de los datos obtenidos	116
5.2.3.	Comparación de la configuración seleccionada con el Sistema Real	119
5.3.	Evaluación de la capacidad predictiva de la configuración seleccionada	123
5.4.	Ejemplo de aplicación: uso del simulador para predecir los efectos sobre el servicio de urgencias del Hospital de Sabadell de políticas alternativas de derivación de pacientes	129
5.4.1.	Análisis de los escenarios correspondientes a la llegada real de pacientes	131
5.4.2.	Análisis de todos los escenarios de llegada	132
Capítulo 6. Conclusiones, principales aportaciones y líneas abiertas.....		134
6.1.	Conclusiones	135
6.2.	Principales aportaciones	138
6.3.	Líneas abiertas	141
Referencias bibliográficas.....		144
Anexo 1 . Descripción funcional del Servicio de Urgencias .....		149
Anexo 2 . Tablas de transiciones de estado de los diferentes agentes que incluye el modelo .....		176
Anexo 3 . Manual básico de uso de Netlogo .....		192

## Índice de Figuras

Figura 1. Etapas seguidas en cada una de las iteraciones o ciclos en los que se ha dividido el desarrollo del trabajo.	7
Figura 2. Ejemplos de modelización del entorno correspondientes a diferentes simulaciones badasas en agentes	26
Figura 3. Representación formal a través de máquinas de estado de la interacción mantenida por médico y paciente durante la fase de exploración.	36
Figura 4. Tabla de transiciones de estado deterministas.	36
Figura 5. Tabla de transiciones de estado probabilísticas.	37
Figura 6. Diagrama de transición probabilística de estados.	37
Figura 7. Tabla de transición de estado del personal de admisión.	38
Figura 8: Tipos de comunicación.	54
Figura 9. Distribución espacial tipo de un Servicio de Urgencias	59
Figura 10. Distribución espacial del nivel 1	61
Figura 11. Distribución espacial del nivel 2	62
Figura 12. Etapas del proceso de tratamiento Nivel 1 (pacientes 4 y 5)	64
Figura 13. Etapas del proceso de tratamiento Nivel 2 (pacientes 1, 2 y 3)	65
Figura 14. Captura de pantalla de la página inicial del Simulador	71
Figura 15. Ejemplo del contenido del fichero de “datos de entrada”.	72
Figura 16. Especificación en Netlogo de los porcentajes de distribución de pacientes por niveles de prioridad	73
Figura 17. Consola de configuración de parámetros del SUH	76
Figura 18. Código que permite definir los parámetros de tiempo y coste de los diferentes perfiles de médicos	78
Figura 19. Imagen de la pantalla principal una vez se ha cargado la Configuración del SUH previa ejecución de la simulación	82
Figura 20. Proceso de Modelización propuesto por Robert G. Sargent	85
Figura 21. Diferencias en porcentaje entre los índices de similitud de las 300 configuraciones de mejor ajuste	119



Figura 22. Salida total de pacientes (sistema real y simulación) a lo largo de las 24 horas del día.	121
Figura 23. Salida de pacientes tipo 4 (sistema real y de simulación) a lo largo de las 24 horas del día.	121
Figura 24. Salida de pacientes tipo 5 (sistema real y de simulación) a lo largo de las 24 horas del día.	121
Figura 25. Salida total de pacientes (sistema real y simulación) a lo largo de las 24 horas del día.	127
Figura 26. Salida de pacientes tipo 4 (sistema real y de simulación) a lo largo de las 24 horas del día.	128
Figura 27. Salida de pacientes tipo 5 (sistema real y de simulación) a lo largo de las 24 horas del día.	128
Figura 28. Cantidad de pacientes que completan el proceso para los diferentes escenarios de derivación y de llegada de pacientes	133
Figura 29. LoS (en horas) de los pacientes que completan el proceso para los diferentes escenarios de derivación y de llegada de pacientes	133

## Índice de Tablas

Tabla 1. Relación inicial de variables de estado y valores posibles	40
Tabla 2. Relación final de variables de estado y valores posibles	41
Tabla 3. Zonas de interacción y agentes que pueden intervenir	60
Tabla 4. Tiempos necesarios para completar las 3 fases desarrolladas por los médicos, para los 2 niveles de experiencia (Senior y Junior). El tiempo se expresa tanto en minutos como en Tics.	79
Tabla 5. Resultados obtenidos con una cantidad fija de personal del SUH, para una llegada creciente de pacientes (prueba A)	87
Tabla 6. Resultados obtenidos con una experiencia variable de personal del SUH, permaneciendo invariables la cantidad de profesionales y la llegada de pacientes (prueba B)	89
Tabla 7. Resultados obtenidos con una cantidad variable de profesionales del SUH, permaneciendo invariables su nivel de experiencia y la llegada de pacientes (prueba C)	90
Tabla 8. Conjunto de de valores posibles del proceso de interrogatorio que llevan a cabo los médicos.	101
Tabla 9. Promedio de pacientes llegados al SU del Hospital de Sabadell (Corporación Sanitaria del Parc Taulí) cada una de las 24 horas del día de los 12 meses del año 2.011	109
Tabla 10. Distribución de llegada de pacientes (por nivel de prioridad), expresada en porcentaje, del SU del Hospital de Sabadell (Corporació Sanitaria del Parc Taulí) cada uno de los 12 meses del año 2.011	110
Tabla 11. Promedio de pacientes 4 y 5 atendidos a lo largo de las 24 horas del día, para los 12 meses del año.	112
Tabla 12. Información correspondiente al sistema real relativa a la cantidad media de pacientes atendidos, tiempos medios de atención, y desviación estándar de los tiempos de atención	112
Tabla 13. Extracto de la tabla resumen (44 configuraciones con menor índice de similaridad) de los datos de salida del sistema real y el promedio para las 4.851 configuraciones.	118
Tabla 14. Promedio de pacientes atendidos a lo largo de las 24 horas del día, para los 12 meses del año.	119
Tabla 15. Promedio de pacientes tipo 4 atendidos a lo largo de las 24 horas del día, para los 12 meses del año.	120

Tabla 16. Promedio de pacientes tipo 5 atendidos a lo largo de las 24 horas del día, para los 12 meses del año.	120
Tabla 17. Resumen de la información relevante relativa a la prueba de los “Signos de Wilconxon”.	122
Tabla 18. Promedio de pacientes llegados al SU cada una de las 24 horas del día de los 12 meses (utilizados en fase de evaluación de la capacidad predictiva)	123
Tabla 19. Promedio de pacientes atendidos a lo largo de las 24 horas del día, para los 12 meses del año.	125
Tabla 20. Información correspondiente al SR relativa a la cantidad media de pacientes atendidos, tiempos medios de atención, y desviación estándar de los tiempos de atención	125
Tabla 21. Promedio de pacientes atendidos a lo largo de las 24 horas del día, para los 12 meses del año.	126
Tabla 22. Promedio de pacientes tipo 4 atendidos a lo largo de las 24 horas del día, para los 12 meses del año.	126
Tabla 23. Promedio de pacientes tipo 5 atendidos a lo largo de las 24 horas del día, para los 12 meses del año.	127
Tabla 24. Resumen de la información relevante relativa a la prueba de los “Signos de Wilconxon”.	129
Tabla 25. Número de pacientes que completan el proceso de atención y estancia en el SUH (en horas) para los diferentes escenarios de derivación (0% a 100%) para la llegada real de pacientes	132

## Índice de Ecuaciones

Ec 1 .Cálculo del tiempo en Tics a partir de equivalencia entre el tiempo expresado en minutos y Tics	79
Ec 2 .Cálculo del tiempo en minutos a partir de equivalencia entre el tiempo expresado en minutos y Tics	79
Ec 3. Número total de simulaciones a realizar en el proceso de sintonización	102
Ec 4. Índice de similitud	103
Ec 5. Índice de similitud para la extensión anual de la experimentación	105
Ec 6. Cálculo del valor de $\sigma_W$ (prueba de los "Signos de Wilconxon")	122
Ec 7. Cálculo del valor de Z (prueba de los "Signos de Wilconxon")	122

# Capítulo 1

## Introducción

### *Resumen*

Los servicios de urgencias hospitalarias (SUH) son considerados como una de las unidades del sistema sanitario de mayor complejidad y fluidez, lo que unido a la variabilidad de su actividad da lugar a que su gestión operativa sea una tarea muy complicada. Es por ello que resultaría de mucha utilidad para sus responsables disponer de un sistema de ayuda a la toma de decisiones (Decision Support System – DSS), pues les permitiría tomar decisiones disponiendo de información suficiente sobre las alternativas posibles. En este capítulo se relata la motivación, marco teórico y objetivos del trabajo de investigación, que se fundamenta en la aplicación de las técnicas de Modelado y Simulación Orientada Individuos con el propósito de obtener una herramienta que pueda ser utilizada como componente de un DSS por los responsables de los SUH, de forma que antes de tomar cualquier decisión relativa a la gestión operativa tengan ocasión de evaluar con antelación los efectos que generan sobre el sistema las diferentes alternativas de decisión.

## 1.1. MOTIVACIÓN

Los Servicios de Urgencias Hospitalarias (SUH) son una de las unidades más importantes de los proveedores de servicios sanitarios, y habitualmente se convierten en la principal vía de ingreso a los Hospitales. De hecho la creciente demanda de los servicios de urgencias, junto con la limitación de los presupuestos económicos disponibles, y en parte como consecuencia de lo anterior, la saturación de los SUH, son fenómenos compartidos por los sistemas sanitarios de los países desarrollados [1, 2, 3, 4, 5], dando lugar a una sensación en los pacientes de no ser atendidos con el nivel de calidad suficiente.

Los Servicios de Urgencias Hospitalarias constantemente llevan a cabo su actividad en unas condiciones operativas que distan mucho de las ideales. A veces es debido a circunstancias puntuales, como lo puede ser desastres naturales, accidentes de tráfico o llegadas atípicas e imprevisibles de pacientes. Pero también puede ser debido a situaciones estructurales y previsibles, como lo es el crecimiento continuado de la demanda del servicio por parte de la población. Diversos estudios ponen de manifiesto que entre el 70% y el 80% de los pacientes acuden al SUH por iniciativa propia [6, 7, 8, 9, 10], y se estima que hasta un 50% de los pacientes que son atendidos en los servicios de urgencias tienen síntomas y condiciones no complejas que perfectamente podrían ser atendidos en otras unidades del sistema sanitario (servicios ambulatorios, servicios de asistencia primaria, etc) [9, 10, 11]. En el caso particular del sistema sanitario español, dichos estudios concluyen que un porcentaje variable que en algunos supuestos llega hasta el 80%, los pacientes acuden al SUH de forma indebida para no soportar largos periodos de espera habituales cuando son tratados en las unidades del sistema sanitario de atención no urgente. El aumento de la demanda ha sido tal que, aunque ha habido aumento de los recursos técnicos, humanos y económicos, éste ha resultado insuficiente para hacer frente a dicho crecimiento de demanda. La situación se agrava aún más con la actual política de recortes presupuestarios llevada a cabo por los gobiernos nacionales y autonómicos para hacer frente al objetivo de reducción de déficit.

Los SUH son considerados como una de las unidades del sistema sanitario de mayor complejidad y fluidez, pues su actividad no es lineal ya que varía o fluctúa dependiendo de la hora del día, del día de la semana, o de la estación del año. Este es el principal motivo por el cual la toma de decisiones operativas en los SUH (en relación a variables que inciden en el funcionamiento presente y alternativas de funcionamiento futuras) es una tarea muy compleja. Por ello disponer de un sistema de ayuda a la toma de decisiones (Decision Support System – DSS) resultaría de gran utilidad para los responsables de dichos servicios, pues les permitiría tomar decisiones disponiendo de información suficiente sobre las alternativas de decisión posibles. Así, entre otras situaciones, les permitiría analizar cuál es la combinación de recursos humanos y técnicos disponibles que permita atender los diferentes escenarios de llegada de pacientes alcanzando el mayor nivel de calidad del servicio posible.

Un DSS debe ser capaz de procesar la información correspondiente a un sistema actual o propuesto, y después de ser configurado a partir de las especificaciones del usuario, presentar los resultados de forma que ayuden a dicho usuario a la toma de decisiones. Precisamente la Simulación puede ser utilizada como una componente clave en un DSS. Configurándola de forma adecuada, e introduciendo la información necesaria, la simulación permite al usuario analizar de manera experimental cómo reacciona el sistema o partes de éste a determinados INPUTS (cambios), antes de que sean introducidos realmente.

No existen modelos estándares que describan sistemas complejos como los SUH, pero precisamente su modelado y simulación se han convertido en herramientas de gran utilidad. Los primeros ejemplos del uso del paradigma de modelado y simulación para la resolución de problemas sanitarios se encuentran en la década de los 70. Así en 1.979 la simulación computacional fue aplicada para mejorar la planificación de los recursos humanos [12], y en Saunders et al. [13] con el objetivo de cuantificar el impacto que la cantidad de miembros del *staff* sanitario y de camas disponibles tenía sobre los tiempos de permanencia de los pacientes en los SUH. De manera muy especial en la última década se han hecho esfuerzos fructíferos en desarrollar modelos de simulación y optimización para la resolución de problemas de gestión sanitaria [14, 15].

Las técnicas más utilizadas en el modelado y simulación de organizaciones sanitarias son la Simulación de Eventos Discretos (Discrete Event Simulation - DES), Dinámica de Sistemas (System Dynamics - SD) y Modelado y Simulación Basada en Agentes (Agent-Based Modeling and Simulation - ABMS). Se han encontrado un gran número de trabajos en los que DES es aplicado en SUH, siendo menor el uso de ABMS. No obstante, dado que el funcionamiento del SUH depende del comportamiento y de las decisiones tomadas por una variedad amplia de personas (pacientes, personal de admisión, médicos, enfermeras, técnicos sanitarios, etc.) en diferentes partes del sistema, la técnica ABMS es considerada como más adecuada [16].

Precisamente la aceptación, inicialmente limitada, del uso de herramientas de simulación en el ámbito de la gestión sanitaria fue debida en parte a la dificultad que los modelos de simulación tradicionales (SD, DES, Teoría de colas) tienen para capturar las características e interacciones que mantienen tanto los pacientes como el personal que opera en el SUH. Las personas son entidades complejas, y las interacciones entre personas pueden llegar a ser más complejas todavía, pero pueden ser perfectamente modeladas por las técnicas ABMS. El uso de ABMS conlleva a que el modelo sea construido utilizando un proceso de abajo hacia arriba. Esto significa que en ABMS lo más relevante es definir y modelar tanto los individuos como las interacciones que llevan a cabo entre ellos, pues el comportamiento del sistema “emerge” como resultado del comportamiento de cada uno de los individuos, así como las interacciones de unos con otros.

El presente trabajo de investigación se fundamenta en la aplicación de las técnicas ABMS (también referidas en la literatura existente como Modelización y Simulación Orientada Individuos – Mol ) en el ámbito de la gestión sanitaria, con el propósito de obtener una herramienta que pueda ser utilizada como componente principal de un sistema de ayuda en la toma de decisiones [DSS- Decision Support Systems] por los responsables de los SUH, de forma que antes de tomar cualquier decisión de gestión operativa hayan tenido ocasión de evaluar con antelación los efectos que generan sobre el sistema las diferentes alternativas de decisión.

La complejidad del modelo y las características propias del proceso de sintonización que son descritos a lo largo de la memoria dan lugar a que las necesidades de cómputo sean elevadas por lo que resulta indispensable el uso de *High Performance Computing*



(HPC). Para reducir el tiempo necesario para completar el proceso también será necesario el lanzamiento en paralelo de las simulaciones correspondientes a diferentes “escenarios” (configuraciones del SUH), aplicando técnicas de paralelización a nivel básico (ejecuciones paramétricas). Con ello, aunque las necesidades de cómputo sean las mismas, se podrá acortar el tiempo requerido para la obtención de resultados. Por otro lado, una vez realizado el proceso de sintonización y por tanto garantizado que el simulador se comporta de manera muy próxima al sistema real, usando HPC el simulador también podría ser ejecutado un número amplio de veces, cada una de ellas correspondiente a un escenario diferente, de manera que permita disponer de una gran cantidad de información sobre el sistema real, información que en algunos casos no sería disponible si no fuera gracias a la simulación. Aplicando técnicas de minería de datos (Data Mining) sobre dicha información permitiría identificar patrones desconocidos hasta ese momento, así como otras interesantes conclusiones que resulten de utilidad de cara al proceso de toma de decisiones.

## **1.2. OBJETIVOS**

El objetivo principal de este trabajo de investigación es diseñar y desarrollar un modelo y una herramienta de simulación que, previa configuración de los parámetros que permitan recoger las particularidades de un servicio de urgencias concreto, pueda ser utilizado por los responsables de dicho servicio como herramienta de ayuda a la toma de decisiones relativas a la gestión operativa y la planificación del mismo. Así una de las características más relevantes del simulador es que sea aplicable en más de un servicio de urgencias (previo el proceso de sintonización que se describe en el capítulo 4), siendo ésta una de las mejoras aportadas en relación con los trabajos hechos hasta el momento actual, que sólo son aplicables en los hospitales específicos para los que han sido desarrollados.

Teniendo en cuenta la importancia que tanto las personas y sus decisiones, como las interacciones mantenidas entre ellas tienen sobre el funcionamiento del SUH, el modelo se ha construido aplicando las técnicas de ABMS. Tal y como se ha dicho con

anterioridad, en la literatura consultada se ha encontrado un número reducido de ejemplos de utilización del ABMS para la simulación de SUH, y en los que se han encontrado, el modelo sólo se ha utilizado para introducir cierta heterogeneidad en los pacientes. Por otro lado se hace sin aprovechar el potencial que ofrece dicha metodología, y además en dichos modelos se han omitido miembros del Staff del SUH (personal de admisión, enfermeras, camilleros, etc), así como otros elementos (pruebas diagnósticas, servicios radiológicos, sistema informático, etc) que sin lugar a dudas tienen una influencia importante sobre la forma de operar del sistema, y sobre el tiempo requerido para completar todas las fases en las que se divide el proceso.

En el capítulo 3 se presentan con detalle las características del modelo, pero tanto la complejidad de las reglas de interacción entre los individuos como el número de individuos que forman parte del sistema hacen que la cantidad de información a procesar sea muy elevada. Sumado a las características del proceso de sintonización del modelo y del simulador con el sistema real en el que quiera ser aplicado, que se llevará a cabo mediante la técnica de “simulación paramétrica”, resulta imprescindible el uso de Computación de Altas Prestaciones (High Performance Computing - HPC) y de técnicas de paralelización.

### 1.3. METODOLOGÍA DE DESARROLLO

Siguiendo la propuesta de Macal y North [17], y haciendo uso de la experiencia acumulada por el grupo de Investigación en el que se ha desarrollado el trabajo<sup>1</sup>, la construcción y depuración del modelo se ha llevado a cabo siguiendo el “*modelo iterativo de desarrollo en espiral*”. Tal y como se muestra en la figura 1 el desarrollo se organiza en diferentes ciclos o iteraciones, cada una de las cuales finaliza con una versión del simulador implementada y validada, y habiendo identificado las mejoras a incorporar en el siguiente ciclo. Este esquema se va repitiendo en sucesivas

---

<sup>1</sup> High Performance Computing for Efficient Applications and Simulation (HPC4EAS)

iteraciones, con lo que iteración a iteración se irán obteniendo modelos mejorados más aproximados al sistema real.



Figura 1. Etapas seguidas en cada una de las iteraciones o ciclos en los que se ha dividido el desarrollo del trabajo.

En cada una de las iteraciones o ciclos se siguieron las siguientes etapas:

1. **Análisis del sistema:** la información necesaria en esta fase fue obtenida a partir de dos Servicios de Urgencias de diferente tamaño:
  - a. **Hospital de Sabadell:** hospital terciario, que ofrece servicio sanitario a un área de influencia de 500.000 habitantes, atendiendo en su servicio de urgencias a un promedio de 160.000 pacientes/año;
  - b. **Hospital de Mataró:** hospital secundario, que ofrece servicio a un área de influencia de 250.000 habitantes, y atiende un promedio de 110.000 urgencias/año.

Los mecanismos de recogida de información utilizados fueron:

- a. **Entrevistas en profundidad** con profesionales sanitarios clave de los servicios de urgencias. En concreto con los directores del SUH, con directoras de enfermería, enfermeras de triaje, responsables del personal médico y personal de admisión.
- b. **Visitas a las diferentes zonas del SUH**, que permitieron analizar y recoger información "objetiva" sobre los procesos realizados en las diferentes zonas.

- c. **Información cuantitativa** facilitada por los Departamentos de Servicios de Información de los respectivos hospitales.

A través de los mecanismos descritos se obtuvo información de tipo descriptivo-cualitativo y cuantitativo del SUH, que permitió identificar la funcionalidad del sistema, los diferentes elementos (personas, servicios, etc) que intervienen en él y las interacciones que tienen lugar entre ellos. Al objeto de poder modelizar dichos elementos se analizó de forma exhaustiva su comportamiento.

2. **Diseño del modelo:** consistente en la definición formal del modelo, incluyendo los agentes que intervienen (pacientes, profesionales del servicio de urgencias, laboratorios, sistema informático, etc), su comportamiento, el sistema de comunicación y el entorno físico del SUH. Los detalles son presentados en los apartados 1 a 7 del capítulo 3.
3. **Diseño e implementación del simulador:** en lugar de desarrollar un simulador desde cero, lo que hubiera implicado tener que dedicar una gran cantidad de tiempo y esfuerzo a la verificación y justificación de su validez ante la comunidad científica, desde el principio se decidió usar un entorno de simulación ya contrastado, y que diera respuesta a las necesidades concretas del trabajo de investigación (mostrar visualmente los resultados, simulación paramétrica, paralelización, conexión con paquetes matemáticos y estadísticos que permitan el tratamiento de los resultados). Después de un análisis de las herramientas alternativas se escogió Netlogo [18], un entorno especialmente indicado para el modelado de sistemas complejos [19] que permite dar instrucciones a centenares de agentes independientes. Como resultado de esta etapa se obtuvo una simulación completa del sistema. Los detalles del simulador son descritos en el apartado 8 del capítulo 3.
4. **Ejecución del simulador y análisis de resultados:** introducción en el simulador de la información cuantitativa que caracteriza el SUH objeto de estudio, facilitada por los Servicios de Información de las organizaciones sanitarias

colaboradoras, y ejecución del simulador al objeto de obtener la información necesaria para llevar a cabo la fase siguiente.

5. **Verificación y validación-sintonización del simulador con el SUH real:** se compararon los resultados obtenidos en la simulación con datos reales del SUH, con la finalidad de obtener los valores de los parámetros del simulador que permiten replicar el comportamiento del SUH en los escenarios que fueron monitorizados, permitiendo que pueda ser usado para predecir el comportamiento del SUH en otros escenarios distintos. En esta etapa se contó con la colaboración especial de un equipo de profesionales del Servicio de Urgencias del Hospital de Sabadell (Corporació Sanitària del Parc Taulí. Institut Universitari Parc Tauli-UAB), que llevó a cabo la validación cualitativa de cada una de las diferentes versiones del simulador. La gran cantidad de información a procesar, debido tanto a las características propias del modelo como al hecho de que se aplicó la técnica de simulación paramétrica, hizo necesario el uso de computación de altas prestaciones.

Completada una primera iteración, se identificaron las mejoras a introducir en la siguiente, repitiéndose el proceso hasta que, mediante el uso del índice de similaridad que se ha definido, se constató que modelo y simulador se comportaban de manera próxima al SUH real. A lo largo del trabajo se han completado un total de 3 iteraciones, y se han obtenido 3 versiones distintas del simulador. Antes de usar el simulador como componente de un DSS debe ser llevado a cabo el proceso de sintonización entre simulador y sistema real. Se trata de un proceso dividido en 2 fases, una inicial de *ajuste de parámetros*, y una posterior de *verificación de la capacidad predictiva del simulador* con los valores de los parámetros obtenidos en la fase inicial.

Para llevar a cabo la *fase de ajuste de parámetros* deben ser cargadas tanto las variables que definen las características específicas de los servicios de urgencias real (cantidad de recursos técnicos: puntos admisión, Boxes de triaje, Boxes de atención, etc.; cantidad y tipología de Recursos Humanos: personal admisión, enfermeras triaje, médicos, etc) como los datos de entrada -Inputs: cantidad de pacientes que han llegado al SUH durante el periodo objeto de simulación (número y tipología que han

llegado cada franja horaria). También se debe disponer también de los datos de salida (Outputs) correspondientes al periodo de tiempo considerado: cantidad de pacientes tratados (para cada tipología); Tiempos de atención total y de permanencia en cada fase, para cada tipo de paciente.

A través del proceso de sintonización, realizado aplicando la técnica de simulación paramétrica tal y como se describe en el capítulo 4, se identifican los tiempos necesarios por cada tipo de individuos del Staff del SU para completar las diferentes etapas del proceso que permiten que los valores de salida del simulador y sistema real alcancen una similaridad suficiente. La realización de esta fase del proceso conlleva la ejecución de un alto número de simulaciones, por lo que para completar el proceso en un margen de tiempo aceptable se aplicó paralelización de datos (distribuyendo las simulaciones a realizar entre los diferentes nodos de cómputo).

Para llevar a cabo la fase de *validación de capacidad predictiva*, es necesario disponer de datos de entrada y de salida del Sistema Real correspondientes a un periodo distinto. Se introducirán en el simulador los valores que definen la dimensión del SU real (relativa a de recursos técnicos y humanos), los datos de entrada –Inputs y se utilizarán los valores de los parámetros (tiempos necesarios por cada tipo de individuos del Staff del SU para completar las diferentes etapas del proceso) obtenidos en la fase de ajuste. Se realizará la simulación y se compararán los datos de salida del simulador y sistema real para verificar que alcanzan un nivel de similaridad suficiente. A partir de este punto el simulador estará en condiciones de ser usado como componentes clave de un DSS en el SUH para el cual se ha llevado a cabo la sintonización.

Los resultados obtenidos al final de cada uno de los ciclos han sido presentados ante la comunidad científica con el objetivo de recoger su opinión sobre la calidad y validez del trabajo que se estaba realizando, así como indicaciones sobre potenciales mejoras, y en su caso, su validación. De esta forma no sólo se consigue la validación técnica del comportamiento del simulador, sino que además permite que tanto la metodología propuesta como los nuevos conceptos generados a través del trabajo sean validados por la comunidad científica. En total se han elaborado 8 artículos presentados en 7

Congresos Internacionales correspondientes a tres ámbitos diferentes (computacional, de simulación y sanitario), 1 artículo en revista y un capítulo de libro. La relación exhaustiva de dichos artículos es llevada a cabo en el capítulo 6.

## **1.4. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS**

En este capítulo se ha presentado el enfoque general del trabajo de investigación, describiendo la complejidad de los servicios de urgencias hospitalarias y la problemática que se presenta en su gestión operativa y planificación de recursos. Se concretó el objetivo perseguido y la metodología propuesta para el desarrollo del trabajo.

En el capítulo 2 se justifica la utilidad de la simulación en sistemas complejos como los SUH, se hace un resumen del uso de la simulación en el ámbito de la salud en general y en particular en el caso de SUH, y se presenta el marco teórico necesario para entender la metodología de modelado y simulación aplicada, ABMS.

En el capítulo 3 se presentan las características del modelo del SUH desarrollado, incluyendo todos los elementos que lo componen: modelado de agentes activos y pasivos, el modelo del sistema de comunicación y el entorno topográfico del servicio de urgencias, y se cierra el capítulo presentando las características del simulador y los detalles del proceso de verificación y validación llevado a cabo.

En el capítulo 4 se presenta de forma detallada la metodología de sintonización entre el sistema real y el simulador. Se trata de un proceso dividido en 2 fases, una inicial de ajuste de parámetros, y una posterior de verificación de la capacidad predictiva del simulador con los valores de los parámetros obtenidos en la fase inicial.

En el capítulo 5 se hace una validación experimental de dicha metodología, aplicada sobre el caso concreto del servicio de urgencias del Hospital de Sabadell, uno de los SUH que han sido tenido en cuenta en el proceso de recogida de información, cuyo equipo de profesionales ha colaborado de forma especial en la fase de validación del modelo y del simulador.

Finalmente en el capítulo 6 se hace un resumen general de las conclusiones y se exponen las principales contribuciones del trabajo de investigación. Se cierra el capítulo relacionando las líneas abiertas que se pueden seguir en el futuro.



### Marco teórico y trabajos relacionados

#### *Resumen*

La simulación social hace uso de la computación para aplicar la simulación en sistemas no lineales complejos como los Servicios de Urgencias Hospitalarios. No existen modelos estándares que describan el comportamiento de sistemas complejos pero la simulación se ha convertido en una herramienta importante para modelizar este tipo de sistemas. En este capítulo se analiza el uso de la simulación en el ámbito de la salud, presentando las características de los trabajos previos realizados en organizaciones sanitarias en general, y en especial en servicios de urgencias hospitalarios. Después de justificar la idoneidad de las metodologías de modelización y simulación basadas en agentes frente a otras metodologías alternativas. El capítulo se cierra presentando de forma exhaustiva las características de los Modelos Basados en Agentes, así como los elementos que los componen.

## 2.1. SIMULACIÓN SOCIAL

La simulación social es un campo de investigación que aplica métodos computacionales para estudiar cuestiones de las ciencias sociales que incluyen problemas de psicología, sociología, ciencias políticas, economía, antropología, geografía, arqueología y lingüística. La simulación social pretende cubrir el hueco entre el enfoque descriptivo usado en las ciencias sociales y el enfoque formal usado en las ciencias llamadas “duras”, poniendo el foco en los procesos, mecanismos y comportamientos que construyen la realidad social. En la simulación social se hace uso de la computación para aplicar la simulación en sistemas no lineales complejos, que son difíciles de estudiar con modelos basados en ecuaciones matemáticas. Un sistema complejo es una red de componentes heterogéneos que se relacionan de forma no lineal para dar ocasión a un comportamiento emergente del propio sistema. Es decir, se trata de sistemas que incorporan un gran número de elementos que presentan un número elevado de interdependencias, y además presentan una variabilidad considerable [20]. No existen modelos estándares que describan el comportamiento de sistemas complejos pero la simulación se ha convertido en una herramienta importante para modelizar este tipo de sistemas.

Robert Axelrod [21] considera la simulación social como el tercer modo de hacer ciencia, diferenciándose tanto del enfoque deductivo como del inductivo. La generación de datos se puede analizar inductivamente, pero viniendo de un conjunto de reglas rigurosamente especificado en lugar de proceder de la obtención directa del mundo real. Así, la simulación de un fenómeno es comparable a la generación del mismo, es decir, la construcción de sociedades artificiales.

Este apartado es dedicado a analizar las características de las técnicas de modelización basado en agentes, y en particular su aplicación en el ámbito de la simulación social, esto es, para modelizar y simular la interacción entre seres humanos en un contexto sociológico.

## 2.2. USO DE LA SIMULACIÓN EN EL ÁMBITO DE LA SALUD

Tal y como se ha comentado con anterioridad, el paradigma de la modelización y simulación se comenzó a usar en la resolución de problemas del ámbito sanitario en la década de los 70. Así en 1.979 la simulación computacional fue aplicada en organizaciones sanitarias con el objetivo de mejorar la planificación del staff sanitario necesario [12], y en Saunders et al. [13] el objetivo fue cuantificar la sensibilidad del tiempo total de permanencia de los pacientes en el sistema ante cambios tanto en la cantidad de camas disponibles como de personal sanitario. En 1.999 Jun et al. [22] presentaron un estudio sobre el uso de la técnica de Simulación de Eventos Discretos (Discrete Event Simulations – DES) en el ámbito sanitario, en concreto en la actividad clínica. Mención especial merecen los esfuerzos fructíferos realizados en la última década para desarrollar modelos de simulación-optimización que puedan ser aplicados en la resolución de problemas de gestión sanitaria [14, 15].

Siguiendo Brailsford [23], y teniendo en cuenta el uso que se ha dado a las diferentes herramientas de simulación en el estudio de sistemas sanitarios, los modelos utilizados pueden ser clasificados en 3 grupos diferentes:

1. **Modelos de enfermedades:** usados con el objetivo de estudiar la efectividad y el coste-eficiencia de determinadas intervenciones.
2. **Modelos operacionales o tácticos:** aplicados a nivel de unidades sanitarias concretas, para planificar su capacidad, la localización de recursos o el diseño y rediseño de procesos.
3. Y finalmente **modelos estratégicos:** también identificados como modelos sistémicos, que consideran el sistema como un todo, y para nada tienen en cuenta a los pacientes individualmente.

Las técnicas de Simulación de Eventos Discretos (DES), Dinámica de Sistemas (SD) y de Modelización y Simulación Basada en Agentes (ABMS) son las más utilizadas en el modelado y simulación de sistemas sanitarios. La literatura existente sobre el uso de DES y SD en los servicios de urgencias hospitalaria es muy numerosa, pero son relativamente pocos (más aún si se comparan con el volumen de publicaciones

anteriores) los trabajos en los que se hace uso de ABMS. Sin embargo los sistemas sanitarios se basan en las acciones que llevan a cabo diferentes tipos de personas (personal sanitario, personal administrativo, pacientes, familiares de pacientes), así como las interacciones que dichas personas mantienen entre ellas. Tal y como concluyen Escudero et al [16] las técnicas ABMS resultan más apropiadas que DES para el modelado de sistemas basados en el comportamiento humano. Algunos ejemplos del potencial que ofrece las técnicas de modelado y simulación basada en agentes aplicados en SUH son ilustrados en los trabajos de Kanagarajah et al. [24], Günal [25], Stainsby et al. [26, 27] y Taboada et al. [28, 29].

Las técnicas de modelización y simulación basadas en agentes aportan sus mayores beneficios cuando son aplicadas en sistemas humanos cuyos agentes muestran un comportamiento complejo y no determinístico, y en dichos individuos mantienen interacciones que también son heterogéneas y complejas [30]. En el caso particular de las Ciencias Sociales la técnica ABMS ha sido utilizada en aquellas situaciones en las que el comportamiento humano no se puede predecir usando métodos clásicos como los métodos cualitativos o análisis estadístico [31].

Paulussen et al. [32] desarrollaron una aproximación multiagente para la programación de las visitas de pacientes en hospitales. En su propuesta tanto los pacientes como los recursos disponibles en el hospital fueron implementados como agentes autónomos, en concreto los agentes “recursos” ven a los agentes “pacientes” como entidades que deben ser atendidas, mientras que los agentes “pacientes” ven las acciones médicas como tareas que deben ser completadas. La coordinación entre pacientes se consigue a través de un “mecanismo de mercado”, es decir, los pacientes negocian entre ellos la asignación de los recursos hospitalarios disponibles usando para ello una función de coste (utilizando palabras de los autores “health dependent cost functions”) a través de la cual calculan los precios de oferta que permite la asignación de tiempos. Mediante dicha función se incorporan tanto la duración estocástica de cada proceso como las alternativas de circuitos variables. Desafortunadamente el sistema no tiene en cuenta ni la variedad de pacientes que habitualmente hay en los hospitales ni los diferentes tipos de personal sanitario.

En 2.008 Hutzschenreuter et al. [33] desarrollaron una simulación basada en agentes que fue usada para evaluar alternativas de programación de pacientes con el objetivo de conseguir un uso eficiente de los recursos hospitalarios a través de la combinación de diferentes tipos o perfiles de uso. El sistema propuesto incluye múltiples grupos de pacientes con patrones de llegada estocásticos y circuitos de atención alternativos. Los autores hicieron una propuesta para optimizar la gestión de recursos aplicando para ello la fuerza bruta. Como en el caso anterior el modelo se centra en el dominio de los hospitales, específicamente en la unidad de cirugía cardiotorácica, y considera 4 tipos diferentes de pacientes. Dichos pacientes se diferencian entre ellos a partir del tipo de tiempo de estancia en la unidad (Length Of Stay - LoS) y la distribución de llegada, es decir, que en realidad la propuesta no modela el comportamiento del paciente. Además las diferentes unidades hospitalarias son tratadas como agentes, considerando para ellas la cantidad de recursos, su coste, la disponibilidad de recursos y la política de programación.

El trabajo llevado a cabo por Jones et al. [34] es un ejemplo concreto de simulación aplicada en servicios de urgencias hospitalarias. Los autores presentan una simulación basada en agentes desarrollada con Netlogo, y diseñada con el propósito de evaluar el impacto que combinaciones alternativas de médicos provocan sobre el tiempo de espera de los pacientes. Una de las principales limitaciones del modelo es que sólo considera pacientes y médicos, no teniendo en cuenta el resto de personal sanitario que participa e interviene en los SUH. Además, las reglas de comportamiento de ambos tipos de agentes son extremadamente simples, teniendo en cuenta sólo 3 características: el nivel de urgencia, la posición de descarga, y la duración total de la interacción médico-paciente. Estas simplificaciones hacen que el modelo no sea realista. Por otro lado el modelo solo tiene en cuenta el llamado tiempo "door-to-doc", es decir, el tiempo que transcurre desde la llegada al SUH y el momento en que el paciente es atendido por un médico, no considerando el tiempo que transcurre a lo largo de todo el proceso de diagnóstico y tratamiento, que según la información de que se dispone supone la mayor parte del tiempo que el paciente permanece en el SUH.

Uno de los pocos trabajos identificados que ha sido llevado a cabo con datos reales es el realizado por Laskowski et al. [35]. En él los autores describen un modelo basado en agentes de un SUH, desarrollado para evaluar tanto flujos de proceso alternativos y políticas de derivación de pacientes. La simulación incluye múltiples SUH con el propósito de evaluar políticas de distribución de pacientes y ambulancias entre ellos. El modelo propuesto incluye un método para obtener (extraer) información a tiempo real de los pacientes que están siendo atendidos en los servicios de urgencias de una región o zona concreta, con el objetivo de evaluar las políticas de derivación de pacientes entre ellos.

Ha sido identificado otro ejemplo de aplicación de Netlogo para la simulación de los flujos de trabajo del SUH [36]. En él Wang et al. desarrollan una simulación basada en agentes que permite modelar diversas fases del flujo de trabajo del servicio de urgencias hospitalarias, como por ejemplo la fase de triaje, la exploración hecha por el médico residente o la intervención de laboratorios y servicios de radiología. Lamentablemente los autores no usan información procedente de un sistema real, y tampoco consideran los diferentes niveles de gravedad (prioridad) de los pacientes. Tomando palabras de los propios autores, tanto el proceso de trabajo y como las reglas de comportamiento de los agentes son excesivamente simples y por tanto no realistas, y además no pueden ser aplicados en diferentes SUH.

En otros trabajos se hace uso de la simulación con el propósito de optimizar la operativa del servicio de urgencias hospitalarias. Así Ruohonen et al. [37] usan un paquete comercial de simulación para desarrollar un modelo de simulación que describe la operativa del servicio de urgencias de cuidados especiales del Central Hospital of Jyväskylä (Finland). La herramienta fue usada por los autores para testear diferentes formas de organizar el proceso, localizaciones alternativas de recursos, y el desarrollo de la actividad basándose en el análisis de costes. A través del modelo los autores identifican un nuevo método operativo, al que llaman “Triage-team method”, que permite mejorar la eficacia de SUH considerado. Aunque no se trata de un modelo basado en agentes, incluye las diferentes unidades del servicio de urgencias (trauma, cirugía, neurología, medicina interna y medicina para la Infancia), 3 entidades diferentes (pacientes, análisis de sangre y los resultados de las muestras de los

laboratorios de ensayo), y 5 recursos (secretaría, enfermería, médico, personal de laboratorio y personal de rayos X). Una de las principales limitaciones es que el modelo no considera los diferentes tipos de pacientes, ni tampoco diferentes perfiles del staff sanitario (en términos de su nivel de experiencia).

Ahmed et al. [14] aplican la técnica DES para diseñar un sistema de ayuda a la toma de decisiones utilizable en el servicio de urgencias del Hospital Gubernamental de Kuwait. Los autores aplican una metodología que usa la simulación combinada con la optimización para determinar la cantidad de personal sanitario que permite maximizar el número de pacientes atendidos, y minimizar el LoS de los pacientes, todo ello sujeto a restricciones presupuestarias. Dicha metodología contempla una función objetivo compleja y estocástica, sujeta a un conjunto de restricciones deterministas.

En el trabajo de Hutzschenreuter et al [33] mencionado con anterioridad se lleva a cabo una optimización multiobjetivo evolutiva con el propósito de identificar la localización dinámica de recursos en la práctica hospitalaria, mientras que Persson et al [38] concluyen que las técnicas de optimización basadas en agentes y los métodos clásicos de optimización pueden ser usados de forma complementaria. En concreto estos autores comparan sus fortalezas y debilidades, y evalúan la oportunidad de su uso para el caso concreto de la asignación dinámica de recursos. Con la finalidad de identificar alternativas que aúnen las fortalezas de ambos paradigmas de optimización, los autores realizaron una batería de experimentos que les permitieron identificar dos propuestas híbridas muy prometedoras: la utilización de lo que los autores llaman “planificación gruesa”; y el uso de técnicas embebidas de optimización.

El modelo que se desarrolla a través del presente trabajo de investigación es un caso particular de modelo operacional. Se trata de una propuesta que aborda muchas de las cuestiones relacionadas con la modelización y la simulación de un SUH utilizando técnicas basadas en agentes. En este sentido se definen a nivel micro las reglas de comportamiento de los individuos (tanto personas como otros tipos de agentes) que conforman el servicio de urgencias, de forma que el comportamiento del sistema (SUH) a nivel macro emerge como resultado tanto de las acciones individuales de dichos individuos, como de las interacciones llevadas a cabo entre ellos. De esta forma

se pueden identificar las razones o causas por las que el SUH se comporta de una u otra forma. Si es comparado con los trabajos antes relacionados se pueden destacar dos mejoras. De un lado la generalidad del modelo, es decir, el hecho de que tanto modelo como simulador pueden ser usados en diferentes SUH después de realizado el proceso de ajuste de parámetros y de evaluación de la capacidad predictiva que se describen en el capítulo 4. Por otro lado se mejora tanto la variedad como la tipología de agentes. La variedad de pacientes que contempla el modelo es mayor y más parecida al sistema real que la encontrada en los modelos de los trabajos previos, y además incluye personal sanitario (personal de admisión, técnicos sanitarios, enfermeras de triaje, enfermeras de urgencias y médicos de urgencias) y servicios (servicios de radiología, laboratorios y sistema informático) que no son considerados en los modelos diseñados en los trabajos que se han consultado. Por otro lado, en el caso particular del personal administrativo y sanitario del SUH, se tienen en cuenta diferentes niveles de experiencia, pues la información recogida en la fase de análisis pone de manifiesto que el tiempo requerido para completar las diferentes actividades en que se descomponen los procesos dependerá de la experiencia que acumule el profesional en cuestión. Sin lugar a dudas todos estos elementos influyen en gran medida en el funcionamiento del SUH, esto es, el número de pacientes que son atendidos y el tiempo que los pacientes que son atendidos permanecen en el servicio.

### **2.3. MODELOS BASADOS EN AGENTES**

La historia de los modelos basados en agentes se puede remontar a la máquina de Von Neumann, un dispositivo que seguía instrucciones detalladas para generar copias de sí mismo. El concepto fue mejorado por Stanislaw Ulam, creador del dispositivo que más tarde llamó autómatas celulares. Más tarde John Conway construyó el Juego de la Vida, que a diferencia de la máquina de von Neumann, reproducía un mundo virtual que funcionando a partir de reglas simples en forma de un tablero de damas de 2 dimensiones.

La literatura relativa a este tipo de modelos se refiere a ellos bajo nombres diversos: Modelos Basados en Agentes (Agent-Based Models – ABM); Modelos Orientados a



Individuos (Individual-Oriented Models – IoM). El modelado basado en agentes es un método analítico que se aplica en las ciencias sociales desde hace relativamente poco tiempo, pero ha experimentado un creciente uso debido a que permiten construir modelos en los que se representa directamente el comportamiento de los individuos y las interacciones que mantienen en un entorno concreto, de forma que el comportamiento “macro” (sociedad, sistema), emerge como resultado de las acciones de los individuos. Los agentes pueden ser programas informáticos separados, o lo que es más habitual, que sean partes diferenciadas de un mismo programa informático que ha sido usado para representar el comportamiento de actores sociales (individuos, personas, organizaciones tales como empresas, naciones, etc). Comparado con métodos basados en variables que usan ecuaciones estructurales, o aquellos basados en sistemas que usan ecuaciones diferenciales, los métodos basados en agentes ofrecen la posibilidad de modelar la heterogeneidad así como diversos tipos de adaptación y aprendizaje [39].

En disciplinas como la física, la química o la biología la experimentación se ha convertido en el método estándar de hacer ciencia, pero hay disciplinas, como el caso de las ciencias sociales, en las que la realización de experimentos resulta imposible, pues no existe la posibilidad de aislar aquella parte del sistema sobre la que se aplica un tratamiento específico para observar qué ocurre. Una de las ventajas principales aportadas por las técnicas ABM, y que ha provocado su proliferación, es que a través de la modelización y la simulación permite el aislamiento de sistemas humanos, y además no existen los problemas éticos que conlleva la experimentación realizada directamente sobre las personas.

No obstante el uso de agentes no es apropiado para modelizar todo tipo de sistemas, y lamentablemente no se han encontrado reglas que permitan determinar si un sistema puede ser o no modelizado con técnicas basadas en agentes. Sin embargo hay ciertas condiciones que hacen que dichas técnicas sea o no las más apropiadas para modelar un sistema. Así acostumbran a ser las técnicas más adecuadas en el modelado de sistemas formados por personas, animales, u otros organismos heterogéneos, aunque también son adecuados en sistemas formados por individuos homogéneos que se mueven libremente por un entorno, o de manera poco restringida.

Así las técnicas ABM han sido utilizadas para modelar la segregación racial [40, 41], movimientos migratorios [42], mecanismos de transmisión de opiniones [43], el comportamiento de los consumidores [44, 45], redes industriales [46], las cadenas de suministro [47] o el mercado eléctrico [48].

### **2.3.1. Comparación de ABM con técnicas de modelización alternativas**

Los modelos basados en agentes son especialmente recomendables en aquellos ámbitos o aplicaciones en las que sea relevante explicar un fenómeno, pues esta técnica permite identificar de manera más fácil las causas que provocan un determinado comportamiento del sistema. La modelización basada en agentes también es la técnica más adecuada para representar aquellos sistemas cuyo funcionamiento depende del comportamiento de los individuos que lo forman, pues no requieren del nivel de abstracción que si es necesario en técnicas de modelado alternativas. Permiten la representación de los individuos y partes del sistema que son realmente independientes sin necesidad de usar agrupaciones abstractas e irreales, o el uso de valores medios.

Una última ventaja de los modelos basados en agentes frente a otros alternativos es en la representación de la localización de los agentes. A diferencia de lo que ocurre en modelos de colas o sistemas de ecuaciones diferenciales, las técnicas de modelado basadas en agentes permiten representar la locación de cada individuo dentro del sistema, y usar dicha información para conducir el comportamiento de los agentes. Esta es una característica relevante en ciertas aplicaciones, como por ejemplo el modelado del contagio o propagación de una enfermedad, que dependerá en gran medida de la proximidad o separación entre los individuos enfermos y los sanos, así como de su movimiento a lo largo del entorno.

En resumen, más allá de ser capaz de describir cómo se comporta el sistema, tal y como se hace en modelos matemáticos, o de series de ecuaciones diferenciales, las técnicas basadas en agentes permiten además identificar (y por tanto analizar) las causas que han dado lugar a dicho comportamiento. No obstante la modelización basada en agentes es un proceso complejo, pues para el modelado se necesita disponer de información exhaustiva y completa tanto del sistema en general como de

los agentes que lo componen. Mientras un modelo analítico permite la representación abstracta de la realidad de manera que funciona a modo de caja negra en la que sólo son importantes las entradas y salidas del sistema, los modelos basados en agentes pierden utilidad en caso de que no se comporten como el sistema real con un nivel de similitud suficiente.

Además, al no ser una representación matemática del sistema real, la verificación y validación de un modelo basado en agentes pasa por la implementación y ejecución de su simulación. Al tratarse de modelos complejos y frecuentemente de gran tamaño necesitan de una gran cantidad de recursos computacionales. No obstante hoy en día las tecnologías computacionales han avanzado hasta un punto que, con el uso de computación de altas prestaciones, es posible usar modelos basados en agentes a gran escala.

### 2.3.2. Elementos y características de los Modelos Basados en Agentes

Los modelos basados en agentes se componen de tres elementos:

- **Los agentes:** que representan los elementos activos del modelo (animales, personas, organizaciones tales como empresas, etc).
- **El entorno:** representación abstracta del espacio real en el que el grupo de agentes pueden moverse e interactuar. El nivel de granularidad o precisión con el que debe ser modelizado el entorno dependerá de la necesidad concreta, y puede ser una representación multidimensional cartesiana o un simple grafo interconectado.
- **Las reglas de interacción entre agentes**

Seguendo a Epstein [49], las características de modelos basados en agentes que son idóneas para el uso en ciencia generativa son:

- **Heterogeneidad:** cada agente puede operar de acuerdo a sus propias preferencias o reglas de acción. Esta característica permite superar la simplificación y a la vez limitación de las teorías de la ciencia económica o

ciencia organizacional, que “imponen” la asunción de considerar a todos los actores son idénticos o muy similares.

- **Autonomía:** Los agentes son independientes y pueden actuar solos sin una forma de control global centralizada por el modelo. Es decir, que cada agente toma decisiones según sus propios criterios, basándose en la información de que dispone en el momento de tomar la decisión, así como la experiencia acumulada hasta dicho momento.
- **Espacio explícito:** El entorno está definido a partir del sistema real, y también lo está la localización de los agentes dentro de dicho entorno.
- **Interacciones locales:** las interacciones entre agentes están condicionadas por la localización de los agentes que participan en ellas. Esta característica, junto con la anterior dan lugar a que un agente concreto no tenga igual acceso a todos los agentes.
- **Racionalidad limitada:** las acciones de los agentes están limitadas por dos elementos que por otro lado se pueden encontrar en los sistemas reales. De un lado tienen un conocimiento limitado, es decir, no disponen de toda la información sobre el sistema, y por tanto tomarán sus decisiones a partir de la información limitada de que dispongan en el instante que tengan que tomar dicha decisión. Además los agentes tienen que tomar decisiones dentro de un periodo de tiempo razonable, o lo que es lo mismo, no disponen de un tiempo ilimitado para calcular y analizar posibles soluciones a los problemas, y los recursos computacionales también son limitados. .

### 2.3.3. Representación de los agentes

Un agente puede representar cualquier tipo de componente individual de un sistema real [30], desde elementos cuyo comportamiento puede ser representado con un número reducido de reglas (como ocurre con dilema del prisionero<sup>2</sup>), hasta individuos

---

<sup>2</sup> El dilema del prisionero es un problema fundamental de la teoría de juegos. Fue desarrollado originariamente por Merrill Flood y Melvin Dresher en 1950, y posteriormente formalizado por Albert W. Tucker, aplicándolo al caso de las recompensas penitenciarias y dándole el nombre de "dilema del prisionero"

que actúan en base a procesos de toma de decisiones de alto nivel, como por ejemplo un ser humano.

En un modelo basado en agentes cada agente es realmente un submodelo. La representación de estos agentes puede tomar casi cualquier forma, desde los métodos normales de modelización como máquinas de estado, modelos analíticos o algoritmos de comportamiento, hasta métodos tomados de otros ámbitos como la Arquitectura de Subsunción, técnica que nació en el ámbito de robótica [50].

Finalmente los agentes también pueden ser representados por otro modelo basado en agentes, que por definición será más pequeño que el superior y que a su vez puede también ser representado mediante otro modelo basado en agentes. No obstante el nivel de profundidad es finito, y por tanto a partir de un determinado nivel los agentes se tendrán que modelar usando otra técnica.

#### **2.3.4. Representación del entorno**

El entorno es importante porque es el lugar en el que los agentes actúan y dónde se llevan a cabo las interacciones entre ellos. De no existir el entorno los agentes no tendrían lugar en el que posicionarse ni tampoco manera de encontrar al resto de agentes. No obstante el entorno no tiene un rol activo, hace de simple contenedor para los elementos que forman y describen el modelo, si bien puede condicionar la acción de un agente, es decir, es posible que las acciones e interacciones que tengan lugar pueden ser distintas en cada una de las zonas del entorno.

Tal y como ya se ha dicho el entorno podrá ser modelado con mucha o poca precisión, dependiendo de las necesidades concretas impuestas por el sistema, pudiendo ser una representación multidimensional cartesiana o un simple grafo interconectado.

En la figura 2 se muestran ejemplos de modelización del entorno correspondientes a tres simulaciones diferentes. La imagen de la izquierda corresponde a la simulación del tráfico de un cruce de carreteras, y el entorno recoge las características particulares del cruce. La imagen central corresponde a la modelización y simulación de la propagación de un virus a través de una red, y el entorno recoge la estructura de dicha red. Finalmente la imagen de la derecha corresponde a la modelización y simulación

del movimiento de un rebaño de vacas a lo largo de en una pradera, y a través del entorno se modeliza la pradera en cuestión.

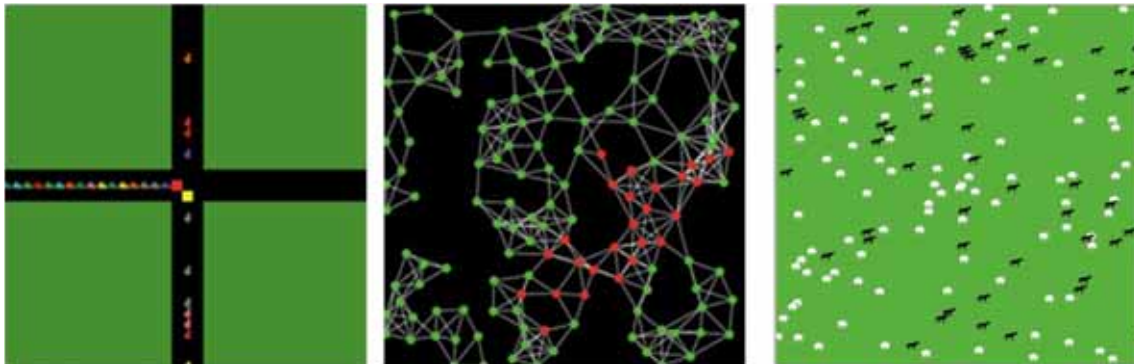


Figura 2. Ejemplos de modelización del entorno correspondientes a diferentes simulaciones badasas en agentes

### 2.3.5. La construcción de un modelo basado en agentes

El comienzo del proceso de modelado de los modelos basados en agentes presenta diferencias en relación a otros paradigmas, debido básicamente a que en ellos el comportamiento de los individuos es más relevante que el comportamiento global. En esta sección se analizan las etapas que se deben seguir en la construcción de un modelo basado en agentes.

#### 2.3.5.1. Identificación del objetivo

Este punto no es exclusivo de los modelos basados en agentes, pero dada su importancia se ha considerado oportuno incluirlo de forma expresa. Es necesario identificar el objetivo para así poder tomar las decisiones relevantes, como lo es decidir qué debe ser modelado y qué no. Un objetivo claro que explicita el uso que se va a dar al modelo permitirá a quién modeliza decidir qué debe ser incluido y qué se podrá excluir, para así alcanzar un modelo que siendo representativo del sistema permita que la complejidad sea la mínima indispensable [51].

#### 2.3.5.2. Identificación de agentes

Los agentes son los elementos clave de estos modelos y resulta crítico elegir de forma correcta el nivel al que deben ser modelados los agentes. Por tanto la primera fase del análisis tiene por objetivo identificar los individuos que van a ser representados a través de agentes. Aunque el sistema modelizado tendrá numerosos componentes, esto no quiere decir que cada uno de ellos tenga que ser incorporado como agente. La

representación de un individuo en forma de agente tiene que estar debidamente justificada, pues cuanto mayor sea el número de agentes más complicado será el modelo y más compleja resultará su verificación.

a. Definición del comportamiento relevante

Los individuos que son representados en un modelo basado en agentes suelen ser muy complejos, más aún si se trata de personas, por lo que pretender modelar totalmente su comportamiento es una tarea que raramente está dentro del alcance de un proyecto de modelización. En consecuencia deberán ser identificados aquellos comportamientos que efectivamente son relevantes para el modelo. En este sentido cada individuo del sistema cumple una función o rol, y precisamente será dicho rol el que deberá ser modelizado.

b. Modelización de agentes

Tal y como ya se ha comentado un modelo basado en agentes no deja de ser un modelo de modelos. Así cada agente es representado por un modelo y, como cualquier otro tipo de modelización, habrá que elegir el modelo que representará a los individuos. Aspectos como el tipo de movimiento que hace el agente o los diferentes estados en los que puede estar permitirán elegir la técnica de modelado a utilizar.

### **2.3.5.3. El entorno**

Un segundo elemento relevante es el entorno. Al contrario de lo que ocurre en otras técnicas de modelización en un modelo de agentes acostumbra a ser necesario modelizar la ubicación. La manera exacta en la que se modelice y su grado de precisión dependerá del sistema y de los objetivos perseguidos.

a. Identificación del entorno

Es importante identificar el entorno del sistema y sus límites. Si tomamos como ejemplo el modelado de un banco de peces, en caso de que la frontera del entorno represente un obstáculo será necesario especificar reglas de comportamiento de los peces cuando encuentran con él, cosa que no habría que hacer en caso de que el entorno no tuviera límites.

b. Definir el nivel de precisión

Al igual que ocurría con la definición del comportamiento relevante de un agente, habrá que definir el nivel de precisión con el que hará falta describir el entorno. Muchos modelos definen el entorno como un espacio cartesiano en dos o tres dimensiones, pero no siempre es necesario que el entorno sea definido con un nivel de granularidad tan fino. Así puede haber casos en los que la posición con respecto a otros agentes pueda ser definida de forma más abstracta, por ejemplo como una serie de lugares en los que puedan estar o no los agentes.

#### **2.3.5.4. Las interacciones**

Las interacciones entre agentes y de los agentes con el entorno actúan como el elemento que enlaza a todos los elementos que forman el modelo. Dichas interacciones serán distintas en función de si el modelo es un todo, o más bien consiste en un conjunto de pequeños modelos.

a. Quien con quien

Lo primero que habrá que definir es qué agentes mantienen interacciones entre ellos y el tipo de interacciones. Aunque es posible que haya sistemas con un conjunto homogéneo de interacciones entre todos los agentes, lo más habitual es que el mapa de interacciones sea heterogéneo, es decir, que las interacciones entre agentes puedan ser distintas en función del tipo de agente y de su ubicación concreta.

b. Tipos de información facilitada

El propósito de una interacción es la transferencia de información, y en muchas ocasiones dicha transferencia también tiene que ser modelizada. En estos supuestos será importante definir el tipo de información a intercambiar por los agentes (por ejemplo información sobre el estado del agente, o en modelos de propagación de enfermedades, podría ser el estado en si mismo el que es transferido entre agentes).



# Modelo y simulación del servicio de urgencias hospitalarias

### *Resumen*

El presente capítulo es dedicado a presentar de forma exhaustiva las características del modelo del servicio de urgencias hospitalarias, del simulador que se ha implementado, y del proceso de verificación y validación que se ha llevado a cabo. Es un modelo basado en agentes, formado en su totalidad a partir de las reglas de comportamiento de los agentes que componen el servicio de urgencias. Incluye 2 tipos de agentes, *agentes activos* que representan a las personas (pacientes, profesionales administrativos y sanitarios del SUH) y agentes pasivos, a través de los cuáles se representan elementos como el sistema informático o laboratorios, los que desempeñan una función relevante en el funcionamiento del sistema. Las interacciones entre los agentes son modeladas a través del sistema de comunicación y el entorno.

### 3.1. INTRODUCCIÓN

El modelo del Servicio de Urgencias ha sido diseñado a partir de la información facilitada por 2 hospitales, uno de tamaño medio, el Hospital de Mataró, y el otro de tamaño grande, el Hospital de Sabadell (Corporació Sanitària i Universitària del Parc Taulí). En el Anexo 1 se presenta de forma exhaustiva el funcionamiento general de un SUH, las personas que intervienen, características del proceso que se sigue en las diferentes etapas, etc. Se trata de un modelo basado en agentes, formado en su totalidad a partir de las reglas de comportamiento de los agentes que componen el servicio de urgencias. Se han identificado 2 tipos de agentes: 1) agentes activos; 2) agentes pasivos [52, 53, 54]. Los primeros representan a las personas que se pueden encontrar en un SUH y que actúan con cierta iniciativa y/o autonomía. En concreto:

- Pacientes
- Acompañantes de los pacientes.
- Técnicos sanitarios.
- Personal administrativo de admisión.
- Enfermeras: de triaje y asistenciales.
- Médicos de urgencias.

Los agentes pasivos representan sistemas del servicio de urgencias que intervienen de forma reactiva, esto es, cuando son utilizados o activados por un agente activo. Nos referimos a elementos como los servicios de diagnóstico (como Radiología y Laboratorios), el sistema informático (en el que se almacena toda la información del paciente durante su paso por el SUH, y que a través del cual se comunican los diferentes profesionales sanitarios), el sistema de sonido o megafonía (utilizado en algunos de los SUH para llamar a pacientes y/ sus acompañantes) y los tubos neumáticos (utilizados para enviar las muestras de sangre, orina, etc, del SU al laboratorio que las debe analizar).

Un servicio de urgencias hospitalarias se divide en diferentes zonas. En el anexo 1 se facilita una información más exhaustiva sobre cada una de ellas. En concreto nos referimos a:

1. Zona admisión: en la que personal administrativo lleva a cabo el registro de la llegada del paciente, y los motivos de su visita al servicio de urgencias.

2. Zona de Triage: en la que profesionales sanitarios identifican el nivel de prioridad con el que debe ser atendido el paciente.
3. Zona de diagnóstico-tratamiento: en esta zona profesionales sanitarios (médicos, enfermeras, etc) intentan identificar las causas del problema de salud del paciente, y en la medida que sea posible, dar solución al mismo. Se trata de una zona que a su vez está dividida en espacios o zonas diferentes (sala médica, sala de enfermería, boxes de atención a pacientes, laboratorios de Rayos-X).
4. Salas de espera: distribuidas a lo largo del SUH, en la que esperan pacientes que se encuentran en diferentes etapas del proceso (después de admitidos y en espera a triaje; después de triaje y esperando a diagnóstico-tratamiento; dentro de zona de diagnóstico-tratamiento; zona de Rayos-X, en espera de ser atendidos).

En cada una de dichas zonas pueden actuar o intervenir diferentes tipos de agentes, llevando a cabo interacciones que también pueden ser distintas en función de la zona de que se trate. Es por ello que el modelo incluye tanto el entorno como el sistema de comunicación, para así poder modelar las interacciones.

En los siguientes apartados de este capítulo se describen con detalle cada uno de los elementos que conforman el modelo general. En primer lugar se presentan los tipos de agentes, sus características y los detalles de la modelización de su comportamiento, y a continuación los elementos del modelo que han permitido la modelización de la interacción entre agentes (modelo de comunicación y entorno).

## **3.2. AGENTES ACTIVOS**

Todos los individuos que actúan proactivamente son representados a través de agentes activos. Los individuos que actúan de esta forma son las personas o agentes humanos que intervienen en algún momento del proceso seguido en el servicio de urgencias. En este apartado se presenta la información relativa a los diferentes tipos de agentes activos que se han identificado.

### **3.2.1. Pacientes**

Los pacientes son los individuos principales del sistema, pues son los receptores del servicio ofrecido en los SUH, y sin los cuales el SUH dejaría de tener sentido. Los

pacientes pasan prácticamente por todas las zonas del departamento de urgencias (salvo aquellas reservadas a personal sanitario), e interactúan con todos los tipos de personal sanitario.

El nivel de prioridad con el que serán atendidos los pacientes es identificado en la fase de triaje (llevada a cabo mayoritariamente por enfermeras de triaje, aunque en algún servicio de urgencias puntual aún es desarrollada por médicos), y aplicando la escala de prioridad y urgencia que se aplica en los hospitales españoles, [3, 55] permite clasificarlos en 5 niveles de prioridad distintos: I a V, correspondiendo el nivel I a los pacientes de mayor urgencia y por tanto prioridad, y el nivel V a los de menor urgencia.

### **3.2.2. Acompañantes de pacientes**

Hay determinados tipos de pacientes que no gozan de autonomía y necesitan del apoyo o asistencia de un acompañante. Así ocurre en niños, personas de tercera edad sin autonomía, personas dependientes (por ejemplo enfermos mentales, disminuidos psíquicos, etc), etc. En estos tipos de pacientes su acompañante estará al lado de ellos a lo largo de todo el proceso, desempeñando una función importante, y por tanto es necesario que sean considerados en el modelo. En el resto de supuestos de pacientes sus acompañantes no tienen una función tan relevante, pero también acostumbran a estar junto a ellos en una parte importante de su estancia en el SUH.

Los acompañantes de los pacientes, al igual que los pacientes, pasan por la mayoría de las zonas del departamento de urgencias (salvo aquellas reservadas a personal sanitario), y pueden interactuar con los pacientes y todos los tipos de personal del servicio de urgencias.

### **3.2.3. Personal de admisión**

Se trata del personal administrativo que atiende a los pacientes nada más llegar al SUH con el objetivo de registrar su entrada, así como los motivos por los que el paciente ha acudido al servicio. Completado el registro envían al paciente a la sala de espera para que continúe con el resto de etapas del proceso. Normalmente ocupa un lugar fijo, el mostrador de admisión, e interactuará con los pacientes y/o sus acompañantes, registrando toda la información en el sistema informático (SI). Puntualmente, en caso

de que el SI no funcione, es posible que abandone su puesto para llevar en persona la información a la zona de triaje (siguiente fase del proceso). Según cuál sea el nivel de experiencia de la persona de admisión, el proceso que se lleva a cabo en este punto se podrá completar en más o menos tiempo.

### **3.2.4. Enfermeras**

En un SUH intervienen diferentes tipos de enfermeras, siendo diferente la función que desempeñan y en consecuencia las zonas del SUH por las que se mueven, el tipo de interacciones que mantienen, e incluso el tipo de individuos con los que interactúan. En concreto se han identificado las siguientes:

- Enfermeras de triaje: que permanecen siempre en uno de los despachos o salas que hay en la zona de triaje, en las que atienden a los pacientes al objeto de identificar su nivel de prioridad. Interactúan únicamente con los pacientes y/o sus acompañantes, así como con el sistema informático (en el que consultará la información relativa a los pacientes que esperan a ser triados, y en el que registrarán el nivel de prioridad del paciente). Sólo abandonarán el despacho de triaje en caso de que el SI no funcione de forma adecuada, y tengan que entregar la información del paciente triado en la zona de “diagnóstico-tratamiento”.
- Enfermeras asistenciales: que intervienen en la fase de “diagnóstico-tratamiento” junto con otros profesionales sanitarios. Mantienen interacciones con pacientes y/o sus acompañantes, con médicos, con los técnicos sanitarios, y con el sistema informático (en el que consultará la información relativa a los pacientes que están atendiendo, y en el que registrarán las acciones que vayan llevando a cabo a lo largo del proceso). Permanecerán siempre en la zona de “diagnóstico-tratamiento”, si bien se trata de una zona dividida a su vez en diferentes espacios. En particular podrán estar en el box en que permanezca el paciente (caso de enfermeras que atiendan a pacientes de niveles de prioridad I, II o III) o el despacho de atención (caso de enfermeras que atiendan a pacientes de niveles de prioridad IV o V), en la sala de enfermería (en la que permanecen mientras no estén atendiendo a ningún paciente, o en la que

están los ordenadores que deben utilizar en su actividad), o desplazándose a cualquiera de una de dichas zonas.

El tiempo requerido por la enfermera para completar los procesos que tienen que llevar a cabo dependerá de su nivel de experiencia (a mayor experiencia necesitará menor cantidad de tiempo) y de su capacidad de comunicación (la habilidad que tenga para comunicarse de forma rápida y eficaz con el paciente).

### **3.2.5. Técnicos sanitarios**

Personal sanitario que interviene en algún momento del proceso que se sigue en el SUH para desplazar a los pacientes de una zona a otra, ya sea en camilla o silla de ruedas (por ejemplo del Box de atención, en el que permanecen ciertos pacientes hasta la sala de radiología en la que se le tienen que practicar una prueba de Rayos X). Sólo interactúan con los pacientes y/o sus acompañantes, y con el sistema informático (en el que consultará la información relativa a los pacientes que deben ser trasladados). Permanecerán en la sala de enfermería mientras no atiendan a pacientes, en el Box en el que el paciente se encuentre cuando vaya a recogerlo, o en desplazamiento a lo largo del SUH cuando lo estén trasladando a su lugar de destino. Para este caso de agentes no se considera relevante ni su nivel de experiencia ni su capacidad de comunicación.

### **3.2.6. Médicos de urgencias**

Es uno de los agentes principales de la fase de “diagnóstico-tratamiento”, en la que interviene junto con otros profesionales sanitarios. Mantienen interacciones con pacientes y/o sus acompañantes, y con el sistema informático (en el que consultará la información relativa a los pacientes que están atendiendo, y en el que registrarán las acciones que vayan llevando a cabo a lo largo del proceso). Permanecerán siempre en la zona de “diagnóstico-tratamiento”, en particular podrán estar en el box en que permanezca el paciente (caso de médicos que atiendan a pacientes de niveles de prioridad I, II o III) o el despacho de atención (caso de médicos que atiendan a pacientes de niveles de prioridad IV o V), en la sala de médicos (en la que permanecen mientras no estén atendiendo a ningún paciente, o en la que están los ordenadores

que deben utilizar en su actividad), o desplazándose a cualquiera de una de dichas zonas.

Al igual que las enfermeras asistenciales, el tiempo requerido por el médico para completar los procesos que tiene que llevar a cabo dependerá de su nivel de experiencia (a mayor experiencia necesitará menor cantidad de tiempo) y de su capacidad de comunicación (la habilidad que tenga para comunicarse de forma rápida y eficaz con el paciente).

### 3.3. MÁQUINAS DE ESTADO

Con el propósito de que se puedan incluir los elementos más significativos de los diferentes agentes (la interacción con el entorno y con otros agentes, su estado interno y su posición en el servicio de urgencias, cómo evolucionan a medida que pasa el tiempo, etc), el diseño del comportamiento de los agentes se ha llevado a cabo utilizando *máquinas de estado de Moore* [56].

El estado en que se encuentra un agente viene identificado por una tupla de variables de estado, cada una de ellas con su correspondiente abanico de posibles valores. Así el agente permanece en un estado concreto hasta que, a través de su interacción con otros agentes, recibe un Input (un Output generado por el agente con el que interactúa) que modifique el valor de una o varias de dichas variables, y en consecuencia pase a un nuevo estado generando un Output que envía al agente con el que está manteniendo la interacción. A modo de ejemplo, cuando un paciente espera a ser examinado por el médico en la fase de diagnóstico y tratamiento (estado inicial del paciente), en el momento que el médico le realiza una pregunta (Output generado por el médico, Input que recibe el paciente), el paciente cambia de estado y procede a facilitar la información que le ha sido requerida. Dicha información será un Output generado por el paciente, y un Input que recibirá el médico. La figura 3 ilustra esta interacción.

Recibido el Input, y siguiendo la transición, la máquina de estado del agente podrá moverse a un nuevo estado ( $S_{t+1}$ ) o permanecer en el estado en el que se encontraba (en caso de que el Input no cambie el valor de ninguna de las variables de estado que definen el estado en el que se encontraba). Al tratarse de máquinas de Moore tienen una salida que sólo depende del estado en el que se encuentre el agente (a diferencia

de las máquinas de Mealy, que pueden tener una salida distinta para cada combinación de estado actual e Input o entrada). Además cada estado sólo tendrá una posible salida, si bien puede haber estados que siendo distintos tengan un mismo Output. La transición o cambio de estado que tendrá lugar dependerá del estado en

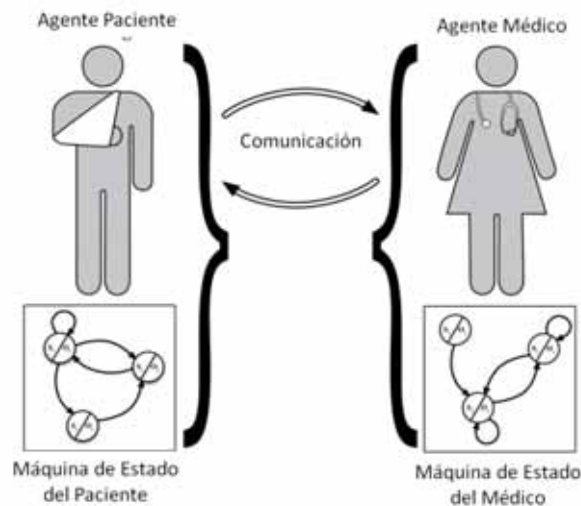


Figura 3. Representación formal a través de máquinas de estado de la interacción mantenida por médico y paciente durante la fase de exploración.

que se encuentre el agente en un instante determinado ( $S_t$ ), así como del Input que reciba en dicho instante ( $I_t$ ).

Las transiciones de estado de una máquina de estados tradicional son deterministas, de forma que cada transición tiene una única combinación de estado actual  $S_t$ , entrada  $I_t$ , e incluye la salida u output  $O_t$ . El conjunto de transiciones puede ser presentado formalmente en forma de tabla de transición de estados, tal y como se muestra en la figura 4.

Estado actual / salida	Entrada	Estado siguiente / salida
$S_0 / O_0$	$I_a$	$S_i / O_i$
$S_0 / O_0$	$I_b$	$S_j / O_j$
$S_0 / O_0$	$I_c$	$S_k / O_k$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$S_x / O_x$	$I_b$	$S_y / O_y$
$S_x / O_x$	$I_d$	$S_z / O_z$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

Figura 4. Tabla de transiciones de estado deterministas.



La tabla de transición de estados incluye una línea para cada una de las combinaciones únicas de estado inicial  $S$  y entrada  $I$ . En dicha línea se incluye el nuevo estado al que cambiará (dependiendo del Input), y al tratarse de una máquina de estado de Moore, la definición del nuevo estado también incluirá su salida  $O$ . Pero la realidad es que un ser humano no acostumbra a comportarse de forma determinista, es decir, que un agente que se encuentre en un estado concreto, podrá responder de forma distinta ante una misma entrada. Por tanto, para poder recoger esta variabilidad (el comportamiento variable de una persona ante un mismo escenario), pero sin pretender hacerlo con un alto nivel de precisión dado lo complejo que resultaría, introducimos transiciones no deterministas. Así dado un estado inicial y su entrada o Input, le asociaremos más de un nuevo estado posible, cada uno de ellos con su Output asociado, que a su vez tendrá asociado una probabilidad de ocurrencia concreta ( $P_i$ ). La transición que finalmente se produzca se determinará de forma aleatoria en el momento de la transición, teniendo en cuenta dichas probabilidades. Tal y como puede verse en la figura 5 en la tabla de transiciones de estado la columna relativa al Input incluirá también la información relativa a dicha probabilidad. Dicha información puede ser presentada también en forma de diagrama, tal y como se muestra en la figura 6.

Estado Inicial / Output	Input	Nuevo Estado / Output
....	....	....
$S_x / O_x$	$I_a(p_1)$	$S_y / O_y$
$S_x / O_x$	$I_a(p_2)$	$S_z / O_z$
$S_x / O_x$	$I_a(p_3)$	$S_x / O_x$
....	....	....

Figura 5. Tabla de transiciones de estado probabilísticas.

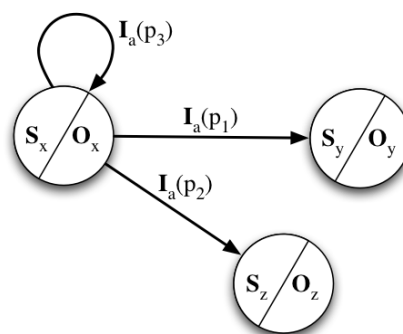


Figura 6. Diagrama de transición probabilística de estados.

Tanto la tabla como el diagrama muestran un caso concreto en el que el estado actual,  $S_x$ , puede recibir un Input  $I_a$ , que puede provocar que el agente cambie a otros 2 estados diferentes ( $S_y$  o  $S_z$ ) o bien permanezca en el mismo estado  $S_x$ . Cada uno de estos estados posibles tiene una probabilidad asociada ( $p_1$ ,  $p_2$  y  $p_3$  respectivamente), de forma que se tiene que dar la condición de que se produzca alguna de dichas transiciones, lo que formalmente se puede expresar de forma que  $p_1 + p_2 + p_3 = 1$ .

En el anexo 2 se detallan las tablas de transiciones de estado correspondientes a los diferentes agentes activos del modelo. No obstante a modo de ejemplo a continuación se incluye y comenta la tabla de transiciones de estado correspondiente al agente *Personal de Admisión*. La figura 7 muestra una versión simplificada de la que contiene el anexo, en la que sólo se incluye el estado inicial, el Input o entrada, el nuevo estado, y el output o salida.

State (t)	Input	State (t+1)	Action
$S_0$	No P in Que	$S_0$	Idle
$s_0$	A new P arrives	$S_1$	Asking patient for approaching to Admission Desk
$S_1$	P doesn't approach to AD	$S_1$	Asking patient for approaching to Admission Desk
$s_1$	P approaches to AD	$S_2$	Requesting to Patient for Health Card
$S_2$	P doesn't give Health Card	$S_2$	Requesting to Patient for Health Card
$s_2$	P gives Health Card	$S_5$	Receiving information and introducing it into IS
$s_2$	P doesn't have Health Card	$S_3$	Asking to patient for Personal Information
$S_3$	P doesn't give Personal Information	$S_3$	Asking to patient for Personal Information
$s_3$	P gives Personal Information	$S_4$	Receiving information and introducing it into IS
$S_4$	Message from IS: further personal information is required	$S_3$	Asking to patient for Personal Information
$s_4$	Message from IS: no further personal information is required	$S_5$	Asking to patient for Reassons of visiting ED
$S_5$	P doesn't give reassons of visiting to ED	$S_5$	Asking to patient for Reassons of visiting ED
$s_5$	P gives reassons of visiting to ED	$S_6$	Receiving information and introducing it into IS
$S_6$	Message from IS: further information is required	$S_5$	Asking to patient for Reassons of visiting ED
$s_6$	Message from IS: no further information is required	$S_7$	Asking patient for going to WR 1
$S_7$	P doesn't leave the AD	$S_7$	Asking patient for going to WR 1
$s_7$	Patient leaves the AD	$S_0$	Idle

Figura 7. Tabla de transición de estado del personal de admisión.

El personal de admisión puede estar en 8 estados diferentes ( $S_0$  a  $S_7$ ). Permanecerá en el estado  $S_0$ , en espera, mientras no haya pacientes en la zona de admisión esperando pasar por el proceso. En el momento que llegue un paciente pasará al estado  $S_1$ , consistente en solicitar al paciente que se acerque a su mostrador de admisión. En caso de que el paciente no se acerque volverá a repetir la acción. En el momento que el paciente llegue al mostrador pasará al estado  $S_2$ , consistente en solicitar al paciente la tarjeta sanitaria. Si el paciente facilita la tarjeta pasará al estado  $S_5$ , consistente en introducir el número de la tarjeta en el sistema informático para

recuperar la información personal del paciente. En caso contrario parará al estado  $S_3$ , a través del cuál el personal de admisión solicita al paciente la información personal que permite llevar a cabo su identificación. En este segundo caso el personal de admisión pasará al estado  $S_4$ , consistente en verificar con el sistema informático que se dispone de toda la información necesaria.

Una vez se ha completado la recogida de información personal se pasa al estado  $S_5$  a través del cuál se pregunta al paciente por los motivos de visita al SUH. En caso de que el paciente facilite la información, el personal de admisión pasará al estado  $S_6$ , consistente en la introducción de la información facilitada por el paciente en el sistema informático. Se permanecerá en este estado mientras el sistema informático no confirme que ya se dispone de toda la información necesaria. Una vez ya se disponga de dicha información se pasará al estado  $S_7$ , en el que el personal de admisión invita al paciente a ocupar la sala de espera.

### **3.4. VARIABLES DE ESTADO**

El estado de los agentes es definido por una colección de variables de estado, cada una de ellas con diferentes valores posibles, de forma que cada uno de los estados posibles tendrá asociada una combinación específica de los valores de dichas variables.

Para simplificar la implementación del modelo en el simulador se ha decidido utilizar un único motor de máquinas de estado a través de la cual se representan a todos los tipos de agentes activos. A partir de dicho motor se genera la máquina de estados de un agente concreto, incluyendo las variables de estado y los valores de dichas variables que tienen sentido para el tipo de agente en cuestión.

#### **3.4.1. Observabilidad de variables**

Las variables de estado tienen una propiedad adicional, la de su observabilidad. Teniendo en cuenta esta propiedad nos podemos encontrar con tres tipos diferenciados de variables:

- Variable observable externamente (E): una variable o un valor de una variable es observable externamente en caso de que otros agentes puedan adivinar el

valor de la variable en cuestión sin tenerse que comunicar (preguntárselo) con el agente al que corresponde el valor de dicha variable. Para ello, los agentes deberán estar físicamente en el mismo lugar. A modo de ejemplo se puede comentar el caso de la variable “localización”, es decir, si hay agentes que comparten una misma ubicación (una sala de espera), cualquiera de ellos sabrá cuál es la localización del otro sin necesidad de preguntárselo.

- Variable observable internamente (I): en aquellos casos en los que la variable o su valor concreto no es observable externamente, y sólo puede ser conocido si se pregunta por su valor al agente al que corresponde. Por ejemplo, el nombre o identificador de un agente, que no tiene porqué ser conocido por el resto de agentes hasta que se lo pregunten directamente a la persona o a su acompañante. Así ocurre, por ejemplo, en el proceso de admisión.
- Variable no observable ni externa ni internamente (N): es decir, variables que no son observables tal y como las hemos identificado en los tipos anteriores. Es lo que pasa en valores que no se pueden observar directamente, y que no son conocidos por el agente al que afectan, por ejemplo así ocurre con el nivel de urgencia o prioridad.

### 3.4.2. Relación de variables y valores posibles

La tabla 1 muestra la relación inicial de variables de estado identificadas a través del proceso de recogida de información, así como algunos de sus valores posibles [29, 52].

Tabla 1. Relación inicial de variables de estado y valores posibles

<b>Variables de Estado</b>	<b>Valores posibles</b>
Nombre/identificador <id>	Única para cada agente
Detalles personales	Edad, género, cultura, religión...
Localización <location>	Entrada; cola de admisión; mostrador de admisión; Sala de Espera “X”; Box de Triage “X”; Sala de consulta; Box de atención; en desplazamiento; ...
Acción	En espera; Solicitando información a <id>; Facilitando información a <id>; Consultando; Desplazándose a <location>; ...
Condición física	Constantes hemodinámicas, índice de Bartel, etc.
Síntomas	No enfermo; insuficiencia cardíaca/respiratoria; trauma severo/moderado; dolor de cabeza; vómitos; diarrea; ...
Habilidad comunicativa	Baja; media; alta
Nivel de experiencia médicos	R<; R>; Adjunto Jr; Adjunto Sr; Adjunto Consultor
Nivel de experiencia (resto personal del SU)	Bajo; medio; Alto

En esta relación inicial se incluía tanto la condición física del paciente como los síntomas con los que acudía al SUH, pues a partir de esta información se puede identificar las acciones concretas a llevar a cabo en la fase de diagnóstico y tratamiento, para así completar la atención del paciente. No obstante, teniendo en cuenta los objetivos de modelización y simulación de la funcionalidad del SUH del nivel en el que se encuentra el trabajo de investigación, los profesionales sanitarios del SUH que han colaborado recomendaron su simplificación, sustituyendo dichas variables por una única que recoja el nivel de prioridad con el que debe ser atendido el paciente. La tabla 2 muestra la versión simplificada de las variables de estado, incluyendo sus valores posibles.

Tabla 2. Relación final de variables de estado y valores posibles

<b>Variables de Estado</b>	<b>Valores posibles</b>
Nombre/identificador <id>	Única para cada agente
Detalles personales	Edad, género, cultura, religión...
Localización <location>	Entrada; cola de admisión; mostrador de admisión; Sala de Espera "X"; Box de Triage "X"; Sala de consulta; Box de atención; en desplazamiento; ....
Acción	En espera; Solicitando información a <id>; Facilitando información a <id>; Consultando; Desplazándose a <location>; ...
Nivel de prioridad	I; II; III; IV; V.
Habilidad comunicativa	Baja; media; alta
Nivel de experiencia médicos	R<; R>; Adjunto Jr; Adjunto Sr; Adjunto Consultor
Nivel de experiencia (resto personal del SU)	Bajo; medio; Alto

A continuación se amplía la información relativa a cada una de las siete variables.

### ***Nombre / identificador***

Cada agente tiene un identificador único dentro del modelo. El identificador permite saber el agente (persona concreta) al que nos estamos refiriendo, y es especialmente relevante para completar el proceso de comunicación que se presenta más adelante. Toma especial importancia en el caso de los pacientes, pues a través de su nombre pueden ser llamados a través del sistema de megafonía para entrar en un llevar a cabo un proceso concreto como el triaje o el diagnóstico-tratamiento, o es la variable a través de la cual se identifica la información guardada en el sistema informático relativa a dicho paciente.

El valor exacto que adopte el identificador no es importante, aunque sí lo es el hecho que debe ser distinto para cada uno de los agentes del modelo. Además es importante

que su valor no cambie mientras el agente represente la misma persona, de hecho el modelo asume que la persona no cambiará su identificador.

### ***Detalles personales***

Esta es una variable que sólo tiene sentido para los pacientes. Los detalles personales representan aquella información que pueda ser relevante en relación a su estancia a lo largo del SUH. Recoge información como su edad, género, procedencia (un paciente extranjero puede tener problemas de comunicación, en caso de desconocer el idioma), religión (según la información recogida, en el caso de la religión musulmana las mujeres no se comunican directamente, sino que lo hacen a través su marido o familiar masculino), o alergias. Los valores de esta variable no cambian para el periodo de tiempo que contempla el modelo.

### ***Localización***

Cada agente estará ubicado en una parte o zona concreta del SUH, si bien a medida que pase el tiempo los agentes podrán cambiar de posición. Se trata de un elemento fundamental del modelo, y es relevante para todos los agentes, pues las interacciones que puede llevar a cabo un determinado agente dependen de la ubicación o localización en que se encuentre. El detalle de las zonas del SUH en las que el agente puede estar localizado se lleva a cabo en la sección de ENTORNO.

Hay lugares que sólo podrán estar ocupados por cierto tipo de agentes, es decir zonas en las que sólo pueda haber un determinado perfil de profesionales sanitarios, como pasa en la sala médica.

### ***Acción***

La acción de un agente representa lo que está haciendo en un momento concreto. Hay acciones que simplemente son informativas al objeto de indicar la transición que puede tener lugar, mientras que en otras su realización conlleva un cierto lapso de tiempo (por ejemplo “desplazándose” de una zona a otra). Se trata de una variable que afecta a todos los agentes, si bien un determinado agente realizará sólo algunas de las acciones posibles. Por ejemplo, el personal administrativo de admisión permanece

siempre en su mostrador de atención (dentro de la Zona de Admisión), y por tanto no tendrá sentido la variable “desplazándose a <location>”. La acción es la variable del modelo que más cambia de valor, debido a su naturaleza.

### ***Nivel de prioridad***

En esta variable, de acuerdo al análisis realizado con los expertos de los SUH, se ha compactado la información relevante del paciente en relación a su estancia en el servicio de urgencias, así como la actividad o intervenciones que sobre él se realicen. A partir de la información sobre la condición física y su sintomatología, en el proceso de triaje se identifica el grado de urgencia de la patología del paciente, y en concreto el nivel de prioridad con el que tiene que ser atendido. Siguiendo el sistema español de triaje [55] los pacientes pueden ser clasificados en 5 niveles diferentes, de I a V, correspondiendo a I el nivel de prioridad máxima, y V al nivel mínimo.

El mapa de patologías es el que determina el proceso concreto a aplicar, pero su número es muy elevado y además la información facilitada por los Servicios de Urgencias no facilita ese detalle, mientras que si incluye el nivel de prioridad. Es por ello que, con el objetivo de incorporar la variedad en la tipología de pacientes pero manteniendo un nivel de complejidad aceptable, la variedad se ha introducido a través de esta variable. Durante su estancia en el SUH el nivel de prioridad del paciente puede cambiar. En futuras evoluciones del simulador la incorporación de variables que identifiquen la patología del paciente permitiría refinar el proceso clínico de interacción con el médico y otros profesionales sanitarios.

### ***Habilidad comunicativa***

Cada persona tiene una mayor o menor facilidad de comunicarse con otros y las diferencias en dicha capacidad son importantes en las interacciones que tienen lugar en un departamento de urgencias. El tiempo necesario para completar un determinado proceso en el que la comunicación sea importante (por ejemplo el interrogatorio que el médico realiza al paciente en la fase de diagnóstico-tratamiento para hacer un diagnóstico inicial) dependerá de manera importante de la habilidad de comunicación de los agentes que participen en dicho proceso. Aunque se trata de una variable que afecta a todos los tipos de agentes, según la información recogida en la

fase de análisis se trata de una variable especialmente relevante en el caso de los pacientes, pues puede ocurrir que acudan al SUH pacientes extranjeros que no tienen un dominio suficiente del idioma español. Hay que tener en cuenta que hay hospitales que atienden un área de influencia en la que el porcentaje de población inmigrante es importante, y en consecuencia, la proporción de pacientes con problemas de comunicación que acuden al SUH es también elevada.

La habilidad de comunicación puede tomar tres valores posibles: a) bajo: una persona con dificultades con la idioma; b) medio: una persona con un conocimiento normal del idioma, pero con escaso conocimiento de una situación específica; c) o alto: personas tienen tanto un buen conocimiento del idioma como información previa de una situación específica.

El valor de esta variable no cambiará a lo largo del periodo de tiempo considerado en el modelo.

#### ***Nivel de experiencia (médicos y resto de personal del SUH)***

Variable que sólo tiene sentido para los diferentes tipos de personal del SUH, tanto sanitario como administrativo. La experiencia aportada por el personal que participa en el SUH suele ser diferente, y afecta de forma directa al tiempo requerido por dicho profesional para completar las actividades que son de su responsabilidad. A mayor experiencia, menor será el tiempo necesario.

Según la información recogida en la fase de análisis la experiencia depende de los años que el profesional lleve desempeñando la función concreta. Una enfermera puede llevar muchos años en un SUH, pero puede ocurrir que lleve poco tiempo desarrollando una función concreta, por ejemplo como enfermera de triaje, con lo cual su experiencia sería reducida.

En el caso particular de los médicos se divide en cinco niveles o tipos:

1. Residente con una experiencia inferior o igual a 3 años ( $R <$ ).
2. Residente con una experiencia superior a 3 años, e inferior o igual a 5 ( $R >$ ).
3. Adjunto Jr: experiencia superior a 5 años e igual o inferior a 10.
4. Adjunto Sr: experiencia superior a 10 años e igual o inferior a 15.
5. Adjunto Consultor: experiencia superior a 15 años.



Así la inclusión en uno u otro nivel dependerá de los años que lleve desempeñando dicha función. Al tener que pasar diversos años entre uno y otro nivel, no se contempla que esta variable cambie en el periodo que se considera a efectos de uso del modelo y simulador.

En el caso del resto de personal del servicio (personal administrativo de admisión, enfermeras, técnicos de radiología, etc.) su experiencia también vendrá medida por los años que lleve desempeñando su función. Con el objetivo de simplificar el modelo, en este tipo de profesionales se han considerado sólo tres valores posibles de experiencia: 1) bajo; b) medio; c) alto.

La relación concreta las variables y valores posibles que pueden tomar para cada tipo de agente activo también son presentados en el anexo 2, en concreto se hace en la parte superior de cada una de las tablas de transición de estados. Tal y como se ha hecho en el punto anterior, las que corresponden al *personal de admisión* son:

- Nombre/identificador
- Localización: en este caso se identifica el mostrador de admisión (1, 2 ...n) desde el que atenderá a los pacientes.
- Acción: el personal de admisión puede estar en estado de espera (mientras no está atendiendo a pacientes), puede solicitar a un paciente que se acerque a su mostrador, o pedirle que facilite la información que necesita para completar el registro (tarjeta sanitaria, información personal, motivos de la visita...), introducir y/o consultar la información en el sistema informático, o una vez completado el registro, indicar al paciente que se dirija a la Sala de Espera.
- Nivel de experiencia: que en el caso del personal de admisión puede ser bajo, medio o alto.

### **3.5. AGENTES PASIVOS**

Los agentes pasivos representan servicios y unidades externas que actúan de forma reactiva, es decir, como respuesta a una petición o iniciativa de un agente activo (personal sanitario o administrativo del SUH). A pesar de no actuar por iniciativa

propia, desempeñan una función importante en el normal desarrollo del proceso que se sigue en el servicio de urgencias, motivo por el cual su inclusión en el modelo se considera indispensable. Los agentes pasivos que han sido considerados en el modelo son:

- Laboratorios
- Hospital
- Empresas de transporte sanitario
- Sistema informático
- Sistema de sonido o megafonía
- Tubos neumáticos

A diferencia de los agentes activos, los agentes pasivos no tienen movimiento y no ocupan espacio alguno del SUH (salvo los laboratorios). Se trata de entidades mucho más sencillas que los agentes activos, motivo por el cual no han sido modelados a través de máquinas de estado, pues son mucho más simples y sólo es necesario modelar la interacción que mantienen con agentes activos.

En el caso particular del sistema informático además se utiliza un sistema sencillo de memoria que permite registrar y guardar la información relativa a pacientes mientras no abandonan el servicio de urgencias.

En este apartado se desarrolla de forma exhaustiva la información relativa a cada uno de los tipos de agentes pasivos. En particular se facilita información detallada sobre el agente en cuestión, el papel o función que desempeña, y a continuación se presenta las características de su modelo.

### **3.5.1. Laboratorios**

El sistema nacional de salud español obliga a cualquier SUH a disponer de laboratorios propios. De hecho funcionan como una unidad del Hospital que presta servicio tanto al SUH como a otras unidades de atención no urgente.

#### ***Modelo***

El laboratorio es modelado como agente independiente, que dispondrá de uno o varios puntos de análisis. Irá recibiendo muestras en la medida que sean enviadas desde la zona de diagnóstico-tratamiento del SUH, guardando información del paciente al que corresponde la muestra, y la hora de envío-recepción. Al llegar la muestra entra en cola de espera en la que permanece hasta que el laboratorio pueda

analizarla. En la medida que tenga disponibilidad el laboratorio analizará la muestra que más tiempo lleve esperando (la primera muestra en llegar será la primera muestra en analizar). El análisis conlleva un lapso de tiempo, transcurrido el cual se registrará en el SI que ya se dispone de los resultados. Así el tiempo total necesario para disponer de los resultados del análisis de la muestra dependerá de la carga de trabajo del laboratorio, de la cantidad de puntos de análisis que tenga, y del tiempo requerido para completar el análisis de una muestra.

### ***Comunicación***

Tal y como se ha comentado el laboratorio se comunica con el SUH a través de dos canales: los tubos neumáticos y el SI. Mediante los tubos neumáticos recibirá las muestras, y a través del SI el laboratorio registrará la disponibilidad de los resultados (indicando el paciente al que corresponden) una vez el análisis de haya completado.

### ***Fallos***

No se contemplan fallos de funcionamiento en los laboratorios, más allá de que haya mayor o menor disponibilidad de puntos de análisis, y por tanto, mayor o menor capacidad de atender a la demanda del servicio.

## **3.5.2. Hospital**

Una de las salidas posibles del SUH es que el paciente deba ser hospitalizado. En este caso el paciente abandonará el servicio de urgencias en el momento de que haya camas disponibles. Mientras tanto, seguirá ocupando un box (camilla), y deberá ser monitorizado por la enfermera asistencial responsable del Box que ocupe (le visita periódicamente), y recibirá una visita diaria de un médico. Esta es una de las causas más importantes de la saturación del SUH, pues los recursos que consume el paciente que está pendiente de ingreso son recursos no disponibles para atender a otros pacientes.

Al igual que los laboratorios el Hospital es tratado como una unidad independiente. El tiempo que tarda el paciente en ser ingresado depende en parte de su patología (en nuestro modelo del nivel de prioridad), así como de la capacidad del Hospital en liberar camas.

### *Modelo*

El hospital es modelado como agente independiente. Va recibiendo peticiones de ingreso (en las que se identificará el paciente, su tipología, y la hora de petición) en la medida que sean enviadas desde la zona de diagnóstico-tratamiento del SUH. Al llegar la petición entra en cola de espera (dentro de un nivel de urgencia o tipología de paciente, la primera petición en llegar será la primera a la que se le asigne cama; en caso de que haya peticiones de diferentes niveles, se asignará la cama primero a las peticiones que correspondan a pacientes de mayor urgencia). El tiempo de espera hasta que la cama esté disponible será distinto para los diferentes tipos de pacientes. Una vez realizada la petición, el paciente permanecerá en el SUH hasta que transcurra el tiempo de espera que corresponda a su tipología.

### *Comunicación*

La comunicación entre el SUH y hospital se realiza a través del SI. La petición de ingreso será registrada por el médico que atiende al paciente, y la información llegará de forma automática al Hospital. En el momento que haya cama y el paciente sea ingresado, el Hospital registra en el SI que el paciente abandona el SUH y deja de estar en estado de espera de cama.

### *Fallos*

No se contemplan fallos de funcionamiento en el hospital, más allá de los que correspondan a que el SI no funcione, y la comunicación se tenga que hacer a través de interacción directa entre los individuos.

### **3.5.3. Empresas de transporte sanitario**

Los pacientes pueden llegar al SUH a través de medios sanitarios (ambulancia). Por otro lado hay determinados pacientes que al ser dados de alta deben ser trasladados a su domicilio a través de ambulancia. En este caso el personal administrativo del SUH cursará una petición de servicio. El paciente permanecerá en sala de espera hasta que dicha ambulancia llegue y recoja al paciente.

La empresa de transporte sanitario es tratada como una unidad independiente. El tiempo que tarde en atender una petición dependerá de la cantidad de ambulancias disponibles por el proveedor del servicio, y de la carga de trabajo que tenga.

### *Modelo*

La empresa de transporte sanitario es modelada como agente independiente. Va recibiendo peticiones de servicio (en las que se identificará el paciente) en la medida que sean realizadas por el personal administrativo del SUH. La necesidad de este servicio se identificará en el momento del alta del paciente, consultando la información personal del mismo, en la que se guarda información sobre si necesita o no transporte sanitario. El tiempo de espera hasta que llegue la ambulancia será el mismo para todos los pacientes. Una vez realizada la petición, el paciente permanecerá en la sala de espera hasta que transcurra dicho lapso de tiempo.

### *Comunicación*

La comunicación entre el SUH y la empresa de transporte sólo se realiza en un sentido, y se registrará a través del SI. La petición de servicio será realizada por el personal de admisión, una vez el paciente haya sido dado de alta por el médico. En el momento que llegue la ambulancia dicho personal registrará en el SI que el paciente ha sido recogido, y por tanto dejará de estar esperando a que la ambulancia llegue.

### *Fallos*

Aunque se pueden dar fallos parciales en el sistema de comunicación, así como averías sobrevenidas en las ambulancias que influyan en la capacidad de respuesta de la empresa, el modelo no contempla fallos de funcionamiento en dichas empresas.

#### **3.5.4. Sistema Informático**

Las Administraciones Públicas españolas han potenciado un proceso de informatización del sistema sanitario que ha dado lugar a que en el 100% de los SUH el sistema informático (SI) juegue un papel fundamental. Toda la información sobre el paciente es registrada en el SI por los diferentes profesionales que intervienen en el proceso que se sigue desde su llegada hasta que salen del mismo. Desde el registro de la petición del servicio, realizada mediante el proceso de admisión cuando el paciente se presenta en el SI, hasta el alta del paciente<sup>3</sup> que es introducida por el médico en la

---

<sup>3</sup> Tal y como se describe en el anexo 1, el alta equivale a la “finalización del proceso de atención en el SUH, y por tanto salida del mismo. Los motivos de alta pueden ser: 1- que se enviado a casa, con la

fase final, justo antes de que el paciente abandone el SUH. De hecho la comunicación entre los diferentes profesionales, así como entre el propio servicio de urgencias y las unidades externas que les prestan servicios complementarios, como pasa con los laboratorios, se lleva a cabo a través del SI. La petición de una analítica de muestras es registrada en el SI, junto con el envío físico de dichas muestras. Y los resultados de dicho análisis son también enviados al SUH a través del SI.

Así el sistema informático es un sistema centralizado que gestiona los datos de los pacientes y a través de la cual se lleva a cabo la comunicación entre agentes. El SI tiene la función de almacenar los datos relevantes de cada paciente, y la de gestionar las listas de pacientes que se encuentran esperando en cada una de las etapas en las que se divide el proceso.

### *Modelo*

El SI ha sido modelado mediante un sistema que permite almacenar información (datos de pacientes) así como responder a las peticiones de información que puedan realizar los diferentes profesionales sanitarios en el desempeño de las tareas que tengan encomendadas. El modelo utilizado se basa en un conjunto de tablas que contienen la siguiente información:

- Datos de pacientes dentro del departamento
- Relación de pacientes esperando a ser atendidos en fase de admisión
- Relación de pacientes esperando a ser atendidos en fase de triaje
- Relación de pacientes esperando al Interrogatorio inicial (sub-fase de la fase de diagnóstico-tratamiento)
- Relación de pacientes esperando a exploraciones complementarias (sub-fase de la fase de diagnóstico-tratamiento)
- Relación de pacientes esperando a la aplicación de tratamiento (sub-fase de la fase de diagnóstico-tratamiento)
- Lista de personal de admisión esperando a pacientes
- Lista de enfermeras de triaje esperando a pacientes

---

posibilidad de que deba ser seguido por profesionales sanitarios unidades de atención no urgentes; 2- hospitalización, es decir, ingreso en hospital; 3- defunción. En cualquiera de estos supuestos el paciente abandona el SUH, si bien en el caso de hospitalización estará condicionado a la disponibilidad de camas en el hospital.

- Lista de médicos esperando a pacientes
- Lista de enfermeras asistenciales esperando a pacientes
- Lista de personal de Rx esperando a pacientes

El sistema informático registra y almacena la información como una nueva línea en cada uno de estas tablas, lee la línea de la tabla cuando recibe una solicitud de información de un profesional del SUH, y cuando dicha información ya no es necesaria la borra. Sólo considera la información correspondiente al periodo de tiempo al que corresponde la simulación, pues más allá la información ya no se necesita. Es decir, los datos personales del paciente son cargados en el momento que el paciente llega al servicio de urgencias, pero no serán necesarios para posteriores ejecuciones y por tanto no tienen que ser guardados. Toda la información que es guardada en las tablas ha sido registrada por un agente activo, y excepcionalmente el agente pasivo laboratorios.

### ***Comunicación***

La comunicación entre los profesionales del SUH y el SI se lleva a cabo a través de los terminales que hay en las diferentes zonas (mostrador de admisión en la zona de admisión; sala de triaje en zona de triaje; zona médica, zona de enfermería, y salas de atención en la zona de diagnóstico-tratamiento). Es el agente activo el que inicia el proceso de comunicación con el SI, ya sea para solicitar la información que necesita, o para registrar nueva información. Los detalles del proceso de comunicación son facilitados en la sección *3.6 de MODELO DE COMUNICACIÓN*.

El tiempo de comunicación entre el servidor central y los diferentes terminales se ha considerado nulo, pues representa una fracción que es despreciable si se compara con la duración de los procesos y actividades del proceso del SUH que son críticos y afectan de manera relevante sobre el tiempo total que el paciente permanece en el servicio.

Se pueden dar circunstancias que afecten al correcto funcionamiento del SI (fallos de comunicación entre terminales, caída o fallo del servidor central, etc). En estos supuestos el sistema de comunicación alternativo es directamente entre agentes activos, y por tanto el movimiento físico de los agentes de una zona a otra, para solicitar o facilitar la información en cuestión. En consecuencia un fallo del SI afectará

de manera importante sobre el tiempo necesario para completar las diferentes etapas del proceso.

### **3.5.5. Sistema de megafonía**

En los SUH de tamaño grande utilizan un sistema de megafonía para enviar información a los pacientes (y sus acompañantes) que se encuentran en determinadas salas de espera. Normalmente es utilizado por los profesionales para llamarlos cuando deben iniciar una nueva fase del proceso (triaje, interrogatorio, etc). Este sistema se utiliza en los SUH de gran tamaño, en los que la distancia a recorrer es significativa. No ocurre así en SUH de tamaño medio.

#### ***Modelo***

El sistema de megafonía es modelado como un caso especial de comunicación. Se trata de un sistema que permite la comunicación entre un profesional y todos los individuos que ocupan la sala de espera a la que se dirige dicho profesional. Por tanto el mensaje contiene información sobre el destinatario del mensaje y sobre el lugar al que debe dirigirse. El mensaje llega de forma instantánea a su destino, tal y como ocurriría si el profesional estuviera físicamente en la zona a la que se dirige (caso de comunicación directa).

#### ***Comunicación***

El sistema de megafonía es un simple canal que no guarda información alguna, y que sólo permite la comunicación en un sentido (desde el profesional a los individuos que estén en una zona).

#### ***Fallos***

Se pueden dar diversos tipos de fallos. En primer lugar que el sistema no funcione, y en consecuencia el profesional tenga que dirigirse a la zona con la que se quiera comunicar, requiriendo de más tiempo para completar el proceso de comunicación.

Un segundo tipo de errores es que el paciente al que se dirigen no esté atento o no oiga el mensaje, y por tanto el mensaje no llegue a su destinatario. En este supuesto, transcurrido un lapso de tiempo sin que el paciente haya completado la acción



esperada (por ejemplo entrar en un Box de atención concreto), el profesional volverá a enviar el mensaje.

Un tercer tipo de fallo es que el paciente que reaccione y se desplace a dicho lugar no sea el paciente al que realmente iba dirigido el mensaje. En este supuesto se tendrá que repetir el envío del mensaje.

### **3.5.6. Tubos neumáticos**

De nuevo en SUH de tamaño grande utilizan tubos neumáticos a presión para el envío de muestras (sangre y orina) a los laboratorios que tienen que analizarlas. Se trata de laboratorios que están físicamente en el hospital, pero a una distancia considerable. Este sistema agiliza el envío, pues permite que se pueda hacer justo después de que la muestra haya sido extraída (en caso de que los lleve una persona, se espera hasta acumular un cierto número de muestras), y por otro lado permite que el envío se haga en menos tiempo.

#### *Modelo*

Aún siendo un elemento distinto al sistema de megafonía su modelado comparte un gran número de similitudes. El envío solo se hace en un sentido, de la zona de diagnóstico-tratamiento al laboratorio, sin necesidad de repetición, esto es, el envío se hace una única vez.

#### *Comunicación*

Como ocurre con el sistema de megafonía, los tubos neumáticos pueden ser considerados como un simple canal de comunicación, a través del cual el profesional sanitario se comunica con el laboratorio (en este caso, envía la muestra del paciente). Tampoco guarda información alguna, y sólo permite la comunicación en un sentido (desde el profesional al laboratorio).

#### *Fallos*

En este caso el fallo puede ser debido a que el sistema esté fuera de servicio. En este supuesto la muestra deberá ser llevada por un técnico sanitario hasta el laboratorio, lo que supondrá mayor cantidad de tiempo para completar el envío.

### 3.6. MODELO DE COMUNICACIÓN

La interacción entre los diferentes agentes se lleva a cabo a través de la comunicación, que es modelada como el input, o entrada que recibe, y los outputs, o salidas que genera. Tal y como se muestra en la figura 8 el modelo de comunicación contempla tres tipologías distintas, en función de cuál sea el número y localización de los destinatarios (receptores de la salida generada por un agente):

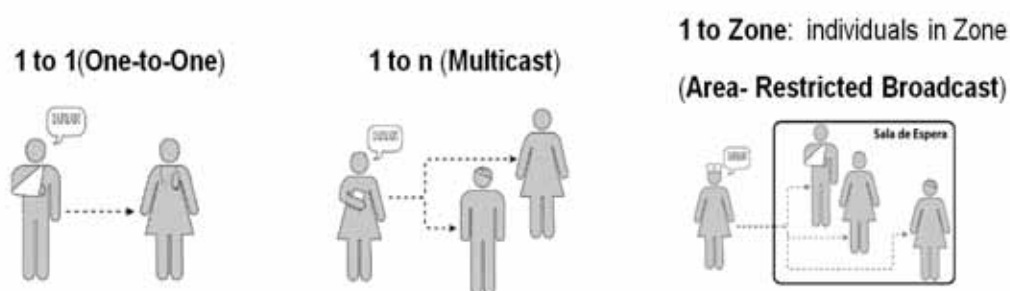


Figura 8: Tipos de comunicación

1. **Comunicación 1 a 1:** es decir, la llevada a cabo entre 2 agentes individuales. Se trata del tipo de comunicación más básico. El mensaje tiene una fuente, un destinatario y el contenido. Es el tipo de interacción (comunicación) que tiene lugar entre paciente y personal de admisión, médico y paciente, enfermera y paciente, etc. En este caso el mensaje no hace falta que contenga el destinatario, pues al comunicarse con un único agente queda asumido de forma implícita que va dirigido al agente con el que está interactuando.
2. **Comunicación 1 a n:** que se da cuando un agente individual se dirige a 2 o más agentes, tal y como ocurre cuando en alguna de las fases del proceso (por ejemplo admisión) el paciente es acompañado por un familiar o conocido. En este caso el mensaje tiene una fuente, el contenido del mensaje es similar a la comunicación uno a uno, pero nos encontramos con más de un destinatario.
3. Y **comunicación 1 a zona:** que se da cuando un agente (habitualmente un profesional sanitario), a través del sistema de megafonía se dirige a todos

los agentes (pacientes y acompañantes) que permanecen en una determinada zona (normalmente una sala de espera). En este caso la comunicación se modela incluyendo la fuente, el destinatario es especificado como la zona a la que se dirige, y el contenido es igual que el resto de tipos de comunicación, aunque en este caso incluirá el identificador del paciente al que se dirige el mensaje, así como la zona o lugar al que se tiene que dirigir.

Aunque la manera de comunicación más habitual es la “comunicación explícita o activa”, en la que el emisor envía el mensaje a través de la voz, también es posible que se dé la comunicación pasiva o implícita, es decir, la que el agente emite a través del lenguaje corporal, su estado físico o su posición en el espacio, y que es percibida o captada a través de la vista. Ésta también puede ser representada utilizando el mismo modelo. En este sentido un agente está emitiendo mensajes de forma continua en relación a su estado físico y su localización. Este tipo de comunicación se modela como 1 a zona, de manera que el agente envía el mensaje a todos los individuos que están localizados en una determinada zona. Así ocurre, por ejemplo, cuando un paciente entra a la zona de admisión, siempre que no haya nadie más. El personal administrativo de admisión recibirá información de que el paciente ha llegado sin necesidad de que dicho paciente le tenga que decir nada.

Los mensajes están formados por tres partes:

- **Fuente del mensaje:** que corresponde al agente o individuo que lo emite o genera. Es necesario conocer la fuente para que el destinatario sepa a quién tiene que enviar su respuesta. Normalmente la fuente del mensaje se podrá identificar de forma implícita, especialmente en la comunicación 1 a 1 o 1 a n, en las que el destinatario mantiene contacto visual con el agente con el que mantiene la interacción. No obstante puede ocurrir que no sea así, especialmente en la comunicación 1 a zona transmitida a través del sistema de megafonía.
- **Destinatario(s) del mensaje:** todo mensaje debe tener un destinatario, y en algunos casos más de uno. Se trata del agente al que va dirigido el mensaje. En

el caso de la comunicación 1 a 1 el destinatario será único mientras que en la comunicación 1 a n será más de uno. En la comunicación uno a zona el destinatario también será único, como ocurre cuando una enfermera llama a un paciente para que se dirija a una sala de atención concreta.

- y el **contenido del mensaje**: a través del cual se solicita información, se plantea una pregunta concreta, se facilitan instrucciones, etc. Se trata de la parte del mensaje que contiene la información que podrá provocar que el destinatario cambie de estado. Tal y como se ha comentado con anterioridad cabe la posibilidad de que el contenido incluya información explícita sobre la fuente y/o los destinatarios del mensaje (caso en el que no hay contacto visual entre los interlocutores).

La relación específica de Inputs que puede recibir un determinado agente, así como la de outputs que puede generar, puede tomar valores distintos para cada tipo de agente. El detalle puede ser consultado en las tablas de transición de estados que se incluyen en el anexo 2. A modo de ejemplo, tal y como se ha hecho en puntos anteriores, analizaremos el caso particular del agente *Personal de Admisión*. En el caso particular de los Inputs, en los que el destinatario siempre es el personal de admisión, los valores posibles son:

A. Relación de mensajes implícitos

- No hay ningún paciente en la cola (No P in Que): mensaje implícito,
- Un nuevo paciente llega a la zona de admisión (A new P arrives)
- El paciente no se acerca al mostrador de admisión (P doesn't approach to AD)
- El paciente se acerca al mostrador de admisión (P approaches to AD)
- El paciente no entrega la tarjeta sanitaria (P doesn't give Health Card)
- El paciente entrega la tarjeta sanitaria (P gives Health Card)
- El paciente no facilita la información personal (P doesn't give Personal Information)
- El paciente no facilita los motivos de visita (P doesn't give reasons of visiting to ED)
- El paciente no abandona la zona de admisión (P doesn't leave the AD)
- El paciente abandona la zona de admisión (Patient leaves the AD)

## B. Relación de mensajes explícitos

- El paciente no lleva consigo la tarjeta sanitaria (P doesn't have Health Card): El origen es el paciente, y el contenido del mensaje “no tengo tarjeta sanitaria”.
- El paciente facilita la información personal solicitada (P gives Personal Information): El origen es el paciente, y el contenido del mensaje “información personal requerida”.
- El SI informa de que se necesita más información personal (Message from IS: further personal information is required): El origen es el SI, y el contenido del mensaje “Se necesita más información personal”.
- El SI informa de que no se necesita más información (Message from IS: no further personal information is required): El origen es el SI, y el contenido del mensaje “No se necesita más información personal”.
- El paciente facilita los motivos de visita (P gives reasons of visiting to ED): El origen es el paciente, y el contenido del mensaje “motivos de visita”.
- El SI informa de que se necesita más información (Message from IS: further information is required): El origen es el SI, y el contenido del mensaje “Se necesita más información sobre motivos de visita”.
- El SI informa de que no necesita más información (Message from IS: no further information is required): El origen es el SI, y el contenido del mensaje “No se necesita más información sobre motivos de visita”.

En el caso de los Outputs, en los que el origen siempre es el personal de admisión, y en todos los casos se trata de mensajes explícitos, los valores posibles son:

- Pedir al paciente que se acerque al mostrador de admisión (Asking patient for approaching to Admission Desk): El destinatario es el paciente, y el contenido del mensaje “Acérquese al mostrador X”.
- Pedir al paciente la tarjeta sanitaria (Requesting to Patient for Health Card): El destinatario es el paciente, y el contenido del mensaje “Déjeme la tarjeta sanitaria”.

- Introducir número de tarjeta sanitaria en el SI (Receiving information and introducing it into IS): El destinatario es el sistema informático, y el contenido del mensaje “Número de tarjeta sanitaria Paciente X”.
- Pedir al paciente información personal (Asking to patient for Personal Information): El destinatario es el paciente, y el contenido del mensaje “Deme información personal”.
- Introducir información personal facilitada en el SI (Receiving information and introducing it into IS): El destinatario es el sistema informático, y el contenido del mensaje “Información personal del Paciente X”.
- Pedir al paciente motivos de visita (Asking to patient for Reassons of visiting ED): El destinatario es el paciente, y el contenido del mensaje “Cuáles son los motivos de visita”.
- Introducir motivos de visita paciente X en el SI (Receiving information and introducing it into IS): El destinatario es el sistema informático, y el contenido del mensaje “Motivos de visita del Paciente X”.
- Pedir al paciente que se dirija a Sala de Espera (Asking patient for going to WR 1): El destinatario es el paciente, y el contenido del mensaje “Dirijase a Sala de Espera 1”.

### **3.7. EL ENTORNO**

Tal y como se ha comentado en el capítulo de marco teórico, uno de los elementos indispensables de un modelo basado en agentes es el entorno, es decir el espacio en el que los agentes actúan y en el que se llevan a cabo las interacciones entre agentes. En función de las necesidades concretas impuestas por el sistema, el entorno puede ser modelado de forma muy precisa (representación cartesiana multidimensional), o al contrario, utilizando un nivel de precisión reducida.

A partir del análisis de la información recogida en relación al funcionamiento del servicio de urgencias (anexo I), se ha optado por un modelado del espacio con un nivel de precisión medio. Así el entorno ha sido dividido en las distintas “zonas” en las que los agentes que pueden actuar son distintos, siendo también distintas las interacciones

que tienen lugar. La figura 9 muestra de forma gráfica dichas zonas. En particular muestra un ejemplo de distribución general que más adelante es presentado con mayores detalles.

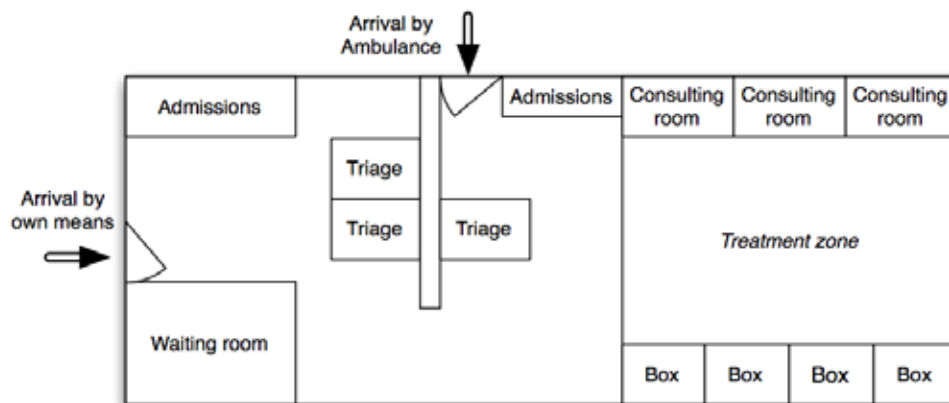


Figura 9. Distribución espacial tipo de un Servicio de Urgencias

Hay agentes activos como los pacientes que cambian de zona a medida que avanza el proceso de atención. Pero por el contrario hay otros que permanecen siempre en la misma ubicación o zona, como el personal de admisión o enfermeras de triaje.

Hay zonas en las que, siendo distintas, pueden llevarse a cabo interacciones que son idénticas. Por ejemplo la interacción entre el personal del SUH y el sistema informático se lleva a cabo tanto en la zona de admisión, como en la de triaje o la zona de diagnóstico-tratamiento, si bien el tipo de agente activo es distinto (personal de admisión en la zona de admisión, enfermera de triaje en la zona de triaje, y enfermeras asistenciales o médicos en la zona de diagnóstico-tratamiento).

Tal y como se puede apreciar en la figura 9, dentro de una misma zona pueden existir subzonas o espacios. Por ejemplo, en la zona de admisión puede haber diversos mostradores (de 1 a 3), o en la de triaje diversas salas de triaje (también de 1 a 3), etc. Se trata de subzonas en las que los agentes que pueden intervenir y las interacciones que se pueden llevar a cabo son funcionalmente las mismas, pero que funcionan de forma paralela e independiente, de manera que serán ocupadas por agentes distintos. En cada una de dichas subzonas intervendrá un profesional del SUH diferente, que estará en ella mientras permanezca en el servicio, y en la que irá recibiendo y atendiendo a los pacientes que deban pasar por dicha fase del proceso. El paciente

sólo podrá pasar por una de dichas subzonas. Finalmente el conjunto de acciones e interacciones que se pueden llevar a cabo en cada una de las subzonas será el mismo.

### 3.7.1. Zonas de interacción

Se han definido cuatro grandes zonas de interacción, de manera que las acciones e interacciones del agente podrán ser distintas dependiendo de la zona en la que se encuentre. En la tabla 3 se relacionan dichas zonas, y se especifican los agentes que pueden intervenir en ellas.

Tabla 3. Zonas y subzonas de interacción y agentes que pueden intervenir

Zona	Agentes
<b>Admisiones</b>	Personal de admisión, pacientes, acompañantes de pacientes
<b>Triaje</b>	Enfermera de triaje, pacientes, acompañantes de pacientes
<b>Diagnóstico-Tratamiento (general)</b>	Médicos, enfermeras asistenciales, técnicos sanitarios, pacientes, acompañantes de pacientes
Sala médica	Médicos
Sala de enfermería	Enfermeras asistenciales, técnicos sanitarios
Box de atención	Médicos, enfermeras asistenciales, técnicos sanitarios, pacientes, acompañantes de pacientes
Sala de radiología	Técnico de radiología, pacientes
Sala de atención	Médicos, enfermeras asistenciales, pacientes, acompañantes de pacientes
<b>Salas de espera</b>	Pacientes, acompañantes de pacientes

En el caso concreto de la zona de diagnóstico-tratamiento, a su vez se divide en 2 áreas:

- 1) **Nivel 1:** La figura 10 muestra de forma visual la distribución espacial del nivel 1. Se trata de un área en la que son atendidos los pacientes con nivel de prioridad IV y V. En ésta zona los pacientes permanecen en una sala de espera mientras no son atendidos por personal sanitario, y en el momento que pueden ser atendidos pasan a ocupar una sala o Box de atención. Hay circunstancias en las que el paciente permanece en una sala de espera reservada, llamada “sala de sillones”.



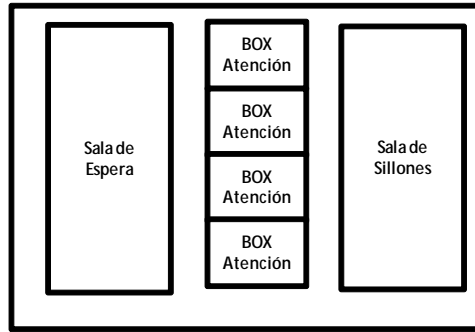


Figura 10. Distribución espacial del Nivel 1

- 2) **Nivel 2:** La figura 11 muestra una posible distribución espacial del nivel 2. En este área son atendidos los pacientes con nivel de prioridad I, II y III. En esta zona los pacientes permanecen siempre en un Box de atención, al que se desplazarán médicos, enfermeras o técnicos sanitarios cuando tengan que realizar alguna acción con el paciente que ocupe dicho Box. Los pacientes sólo abandonan temporalmente el Box en el caso de que se les tenga que practicar una prueba radiológica, en cuyo caso será desplazado a la “zona de radiología” por el técnico sanitario en silla de ruedas o camilla. Los médicos permanecerán en la Sala Médica mientras no estén interactuando con pacientes, mientras que las enfermeras lo harán en la Sala de Enfermería.

Así en el nivel 1 encontraremos las salas de atención, una sala de espera y la sala de sillones, mientras que en el nivel 2 encontraremos los boxes de atención, la sala médica y la sala de enfermería. La sala de radiología está en una zona común, y puede ser utilizada por pacientes atendidos en ambos niveles.

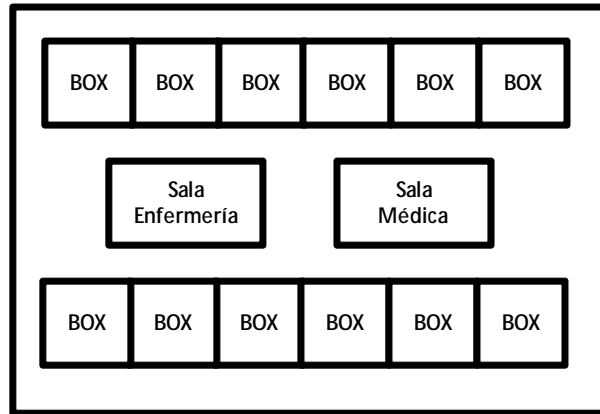


Figura 11. Distribución espacial del nivel 2

A continuación se presentan las acciones e interacciones que se llevan a cabo en cada una de las zonas.

### ***Admisiones***

Es la zona o lugar que se encuentra el paciente nada más entrar al servicio de urgencias. En esta zona realizan acciones e interacciones el personal de admisión, los pacientes y en su caso los acompañantes de pacientes. Normalmente los pacientes forman cola hasta que pueden ser atendidos en algunos de los mostradores de atención, en los que permanecen el personal administrativo de admisión. En el momento que llega su turno el paciente es llamado por la persona de admisión que puede atenderlo, y se lleva a cabo un conjunto de acciones e interacciones que pretende obtener y registrar en el sistema informático la información básica del paciente y los motivos de la visita. Los detalles del proceso son facilitados en el anexo 1. Una vez completado el proceso el paciente pasa a una primera sala de espera 0.

### ***Triaje***

Triaje es la zona en la que las enfermeras de triaje interactúan con pacientes y a veces con sus acompañantes en un box o sala (box de triaje), con el objetivo de identificar el nivel de prioridad con el que debe ser atendido. Apoyándose del sistema informático, llevan a cabo un conjunto de acciones e interacciones cuyo propósito es la recogida de

información (pautada por sistemas de ayuda informáticos), y la realización de exploraciones que permiten identificar el nivel de prioridad del paciente, siguiendo la escala que resulte de aplicación en el Hospital. En el caso de los SUH de España se aplica el SET (Sistema Español de Triage), que clasifica a los pacientes en 5 niveles distintos (1 a 5), siendo I el nivel máximo de prioridad y V el mínimo [57, 58]. En el punto de “zona y fase de triaje” del anexo 1 se amplían los detalles de información.

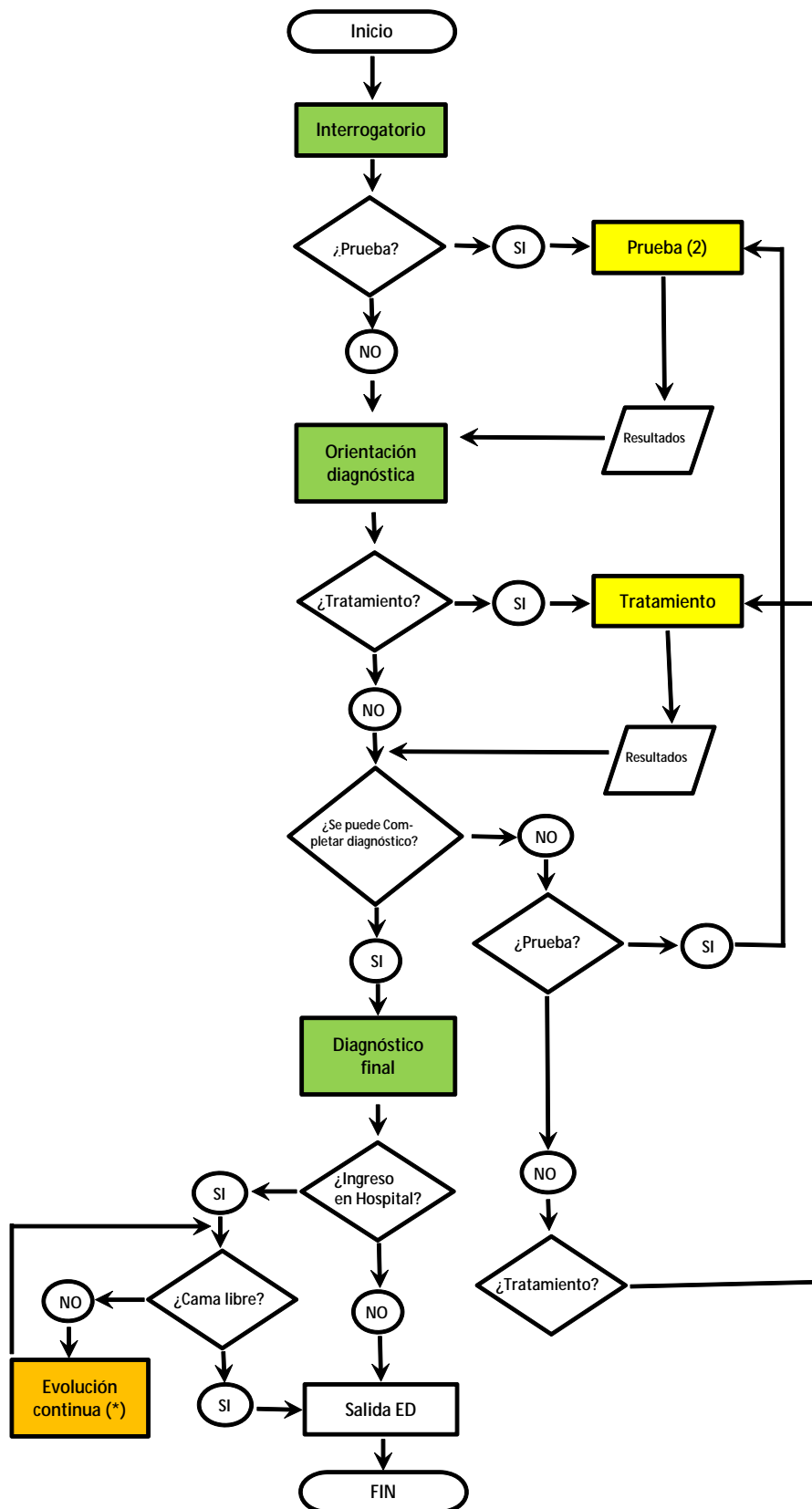
Es importante remarcar que en nuestro modelo el nivel de prioridad del paciente es conocido desde que el paciente entra al SUH, a partir de la información facilitada por el hospital (sistema real), y quedará recogido en la tabla de variables es estado del paciente, si bien es una información que sólo se tendrá en cuenta a partir de que dicho paciente haya superado la fase de triaje.

Una vez completado el triaje los pacientes y en su caso sus acompañantes pasan a ocupar una nueva sala de espera. En caso de que el tamaño del SUH no lo permita, es posible que haya una sala de espera única en la que convivan los pacientes antes y después de haber sido triado. En aquellos supuestos en los que se identifique un nivel máximo de urgencia, el paciente será conducido directamente a la zona de diagnóstico-tratamiento sin pasar por la sala de espera.

### ***Diagnóstico y tratamiento***

Una vez el paciente puede ser atendido en la zona de diagnóstico-tratamiento el profesional sanitario que le vaya a atender le envía un mensaje a través del sistema de megafonía (mensaje de tipo 3: 1 a zona), o en caso de que el SUH no disponga de él, dicho profesional se dirigirá a la sala de espera y se lo comunicará directamente (mensaje de tipo 2: 1 a n). Tal y como se ha mencionado anteriormente, los pacientes con nivel de prioridad 1, 2 o 3 serán atendidos en el nivel 2, mientras que los pacientes con nivel IV o V lo son en el nivel 1. La operativa de ambos niveles es algo distinta, si bien las fases del proceso son las mismas. Las figuras 12 y 13 muestran las etapas del proceso seguido en los niveles 1 y 2 respectivamente.

En el **nivel 1** los pacientes permanecen en una sala de espera mientras no son atendidos por personal sanitario, y cuando pueden ser atendidos por dicho personal sanitario (enfermeras, médicos) pasan a ocupar una sala de atención.



- Actividad desarrollada por enfermera
- Actividad desarrollada por médico
- (\*) Visita periódica de enfermera / Visita médico (mínimo 1 vez/día)

Figura 12. Etapas del proceso de tratamiento Nivel 1 (pacientes 4 y 5)

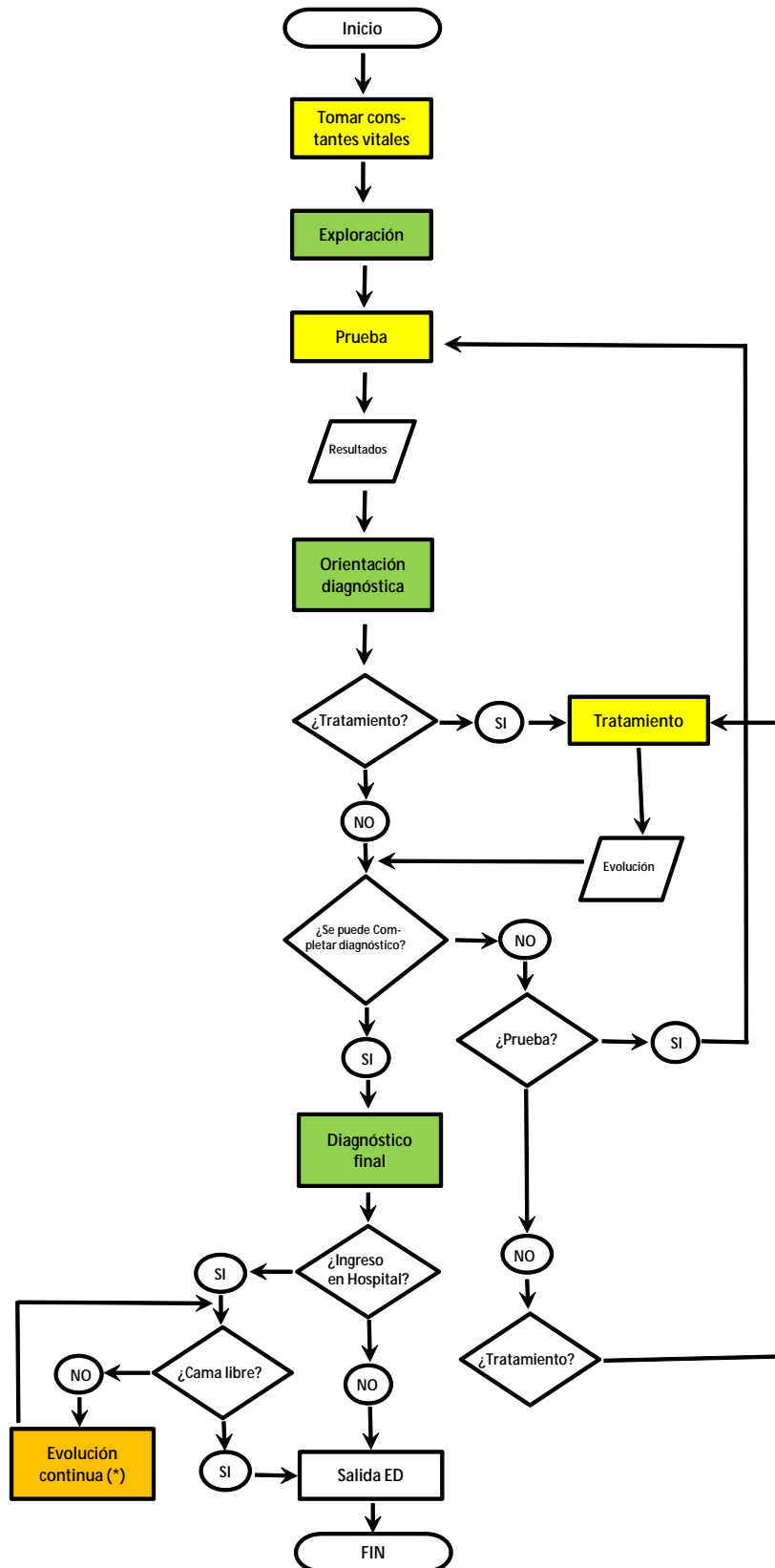


Figura 13. Etapas del proceso de tratamiento Nivel 2 (pacientes 1, 2 y 3)

Pasan por un *interrogatorio y exploración inicial* que consiste en un conjunto de acciones e interacciones en las que participan un médico y el paciente, y que permiten identificar si puede ser dado de alta (y por tanto abandona el SUH) o hay que practicar *exploraciones complementarias* (analítica, electro o prueba radiológica). En caso de que se requieran, el paciente pasará a la sala de espera hasta que se le puedan realizar dichas pruebas. Si se trata de una analítica o electro, es practicada por una enfermera asistencial en la sala de atención. Cuando la enfermera tenga disponibilidad, y en caso de que haya pacientes esperando a que se les practique dicha prueba, llamará al paciente que lleve más tiempo esperando (mensaje 1 a zona) y se llevaran a cabo un conjunto de acciones e interacciones en las que participan la enfermera y el paciente, con la finalidad de practicar la prueba. Una vez realizada, el paciente regresa a la sala de espera. En el caso de pruebas radiológicas, el paciente será desplazado a la “zona de radiología” por un técnico sanitario en silla de ruedas o camilla. En la zona de radiología se realizarán un conjunto de acciones e interacciones en las que participan el técnico de radiología y el paciente hasta obtener los resultados de la prueba. Una vez realizada será llevado de nuevo a la sala de espera.

Realizadas las pruebas, y pasado el tiempo requerido para disponer de los resultados (en el caso de analítica el tiempo que necesite el laboratorio; en el caso de electro o prueba radiológica será inmediato), el sistema informático lo registrará e informará al médico (comunicación 1 a 1) cuando éste lo consulte. A partir de los resultados el médico podrá determinar si el paciente puede ser dado de alta o requiere de que se le aplique un *tratamiento*, en cuyo caso cumplimentará una hoja de medicación. En este supuesto cuando haya una enfermera disponible el paciente será llamado por ésta a la sala de atención (comunicación 1 a zona), y se llevaran a cabo un conjunto de acciones e interacciones en las que participan la enfermera y el paciente, con la finalidad de aplicar el tratamiento. Una vez completada la aplicación, el paciente regresará de nuevo a la sala de espera hasta que pase el tiempo requerido para que pueda ser observado de nuevo por el médico, y sea dado de alta.

Todos los pacientes de este nivel pasan por la fase de interrogatorio y exploración inicial. El modelo permite que se introduzca el porcentaje de pacientes que en promedio pasan por exploraciones complementarias, y el porcentaje que en promedio

debe ser sometido a tratamiento. Estos porcentajes pueden ser distintos para pacientes 4 y 5, y se determinan a partir de la información facilitada por el Hospital.

En el *nivel 2*, el paciente permanece siempre en un box de atención, que sólo abandona en caso de ser dado de alta, o temporalmente si se le tiene que practicar una prueba radiológica. Los boxes son distribuidos entre las enfermeras asistenciales, de forma que en el momento que un box quede libre, la enfermera asistencial responsable lo registra en el sistema informático, para que el médico pueda llamar al paciente de la sala de espera que por nivel de prioridad deba ser atendido (comunicación tipo 1 a zona).

Una vez el paciente ocupa el Box se lleva a cabo un conjunto de acciones e interacciones en las que participan la enfermera responsable del Box y el paciente, y que permiten *tomar las constantes vitales*. A continuación se inician acciones e interacciones entre médico y paciente para completar el *interrogatorio y exploración inicial*, y ordena que se practiquen las **pruebas complementarias** (en este tipo de pacientes siempre se practican pruebas complementarias). La analítica y el electro son practicados por la enfermera asistencial en el Box en el momento que la enfermera responsable de dicho Box tenga disponibilidad. En el caso de la prueba radiológica el paciente será desplazado por un técnico sanitario en silla de ruedas o camilla, y una vez realizada la prueba será llevado de nuevo al Box.

Realizadas las pruebas y transcurrido el tiempo requerido para disponer de los resultados, el médico podrá determinar si el paciente puede ser dado de alta o requiere de que se le aplique un *tratamiento*, en cuyo caso cumplimentará una hoja de medicación. En este supuesto cuando la enfermera responsable del Box esté disponible aplicará el tratamiento. El sistema informático avisará cuando haya transcurrido el tiempo requerido, de forma que cuando el médico tenga disponibilidad, se dirigirá al Box en el que esté el paciente para hacer el *diagnóstico final*. En caso de que el paciente tenga que ser hospitalizado, lo registrará en el sistema informático (comunicación 1 a 1), y en el momento que el hospital tenga una cama disponible informará de ello para que un técnico sanitario conduzca al paciente a la misma, abandonando el SUH. Mientras no la haya, el paciente será observado periódicamente por la enfermera responsable del box, y 1 vez al día por el médico.

### *Salas de espera*

En el SUH hay diversas salas de espera, que normalmente se sitúan entre las fases o etapas en las que se divide el proceso de atención, y en las que permanecen pacientes y sus acompañantes. Así hay una primera sala en la entran después de haber pasado el proceso de admisión, y esperan a ser llamados para pasar la etapa de triaje. En la segunda sala permanecerán una vez hayan completado el triaje mientras no puedan ser atendidos en la fase de “diagnóstico-tratamiento”. Las otras salas de espera están situadas dentro del nivel 1 de la zona de “diagnóstico tratamiento” y en la zona de Radiología.

Tal y como se ha comentado hay diversas salas de espera que se sitúan entre las fases o etapas en las que se divide el proceso de atención, y en las que permanecen pacientes y sus acompañantes. Aunque existe la posibilidad de que pacientes y acompañantes interaccionen entre ellos en dichas salas, este tipo de interacciones no ha sido recogido en el modelo.

Así los pacientes y sus acompañantes permanecerán en la sala en la que estén hasta que sean llamados a través del sistema de megafonía, en caso de que el hospital disponga de él, o en su defecto por personal sanitario del SU. Cuando esto ocurra el paciente (y/o su acompañante) abandonarán la sala y procederán a realizar lo que se les haya indicado (diríjase a Box de triaje “X”; Diríjase a Sala de atención “Z”; Diríjase a Box “Y” ....).

## **3.8. EL SIMULADOR**

Hasta aquí se han presentado la información relativa a todos los elementos que componen el modelo general y con todos los elementos del SUH que han sido identificados como relevantes. A partir de este punto se hace necesario ver cómo interactúan los agentes y cómo evolucionan en el tiempo, por lo que se hace indispensable su implementación en un simulador. En la implementación que se ha llevado a cabo no se han incluido todos los elementos del modelo, se ha comenzado con una versión reducida del mismo.



El desarrollo de un simulador desde cero hubiera supuesto tener que dedicar tiempo a su verificación y validación. Es por ello que desde un principio se optó por utilizar un entorno de simulación existente, de forma que se han podido concentrar los esfuerzos en el diseño y validación del modelo del SUH, su implementación en el entorno de simulación, verificar que la implementación recoge el modelo propuesto, y finalmente validar que el modelo se comporta de manera semejante al sistema real.

Para elegir el entorno en primer lugar se identificaron los requerimientos impuestos por las especificidades del trabajo:

- Entorno de simulación de modelos basados en agentes
- Entorno que muestre visualmente el sistema durante la ejecución del simulador, para así hacer posible una verificación visual en la que puedan participar profesionales del SUH que no dispongan de formación tecnológica.
- Que permita la simulación paramétrica (fundamental para replicar la simulación del modelo variando solamente sus parámetros, y utilizar los resultados en la metodología de sintonización que se describe más adelante)
- Que exporte los resultados de la simulación de forma que puedan ser tratados con paquetes estadísticos y/o matemáticos.

Una vez analizadas las alternativas se escogió Netlogo [18], un entorno de simulación basado en agentes especialmente indicado para la simulación de sistemas complejos [19] que fue creado por Uri Wilensky en 1999 y ha estado en constante desarrollo desde entonces en el Centro de Aprendizaje Conectado y modelado por ordenador. Netlogo permite dar instrucciones a centenares o miles de agentes independientes, que operen y/o se muevan de forma concurrente, permitiendo explorar la conexión entre el comportamiento a nivel micro y los patrones de comportamiento a nivel macro que emergen a partir de las acciones e interacciones de los individuos que conforman el sistema modelado y simulado. NetLogo es un entorno de modelado programable para la simulación de fenómenos naturales y sociales.

### 3.8.1. Características de la versión simplificada del modelo implementada en el simulador

Tal y como se ha comentado al inicio de este punto se ha implementando en el simulador una versión simplificada del modelo general. En este sentido el simulador incluye los siguientes agentes activos: *Pacientes*; *Personal de Admisión*; *Enfermeras de Triage*; *Enfermeras Asistenciales*; *Médicos*; y *técnicos de Radiología*. En relación a los pacientes, aplicando la clasificación del Sistema Español de Triage, a través de la variable nivel de prioridad se han incorporado 5 niveles de urgencia diferentes (1 a 5), En lo que a las diferentes etapas se refiere, las acciones e interacciones correspondientes a los procesos de admisión y triaje se han implementado en su totalidad, pero en el caso de la fase de diagnóstico-tratamiento, respetando las prioridades del servicios de urgencias del Hospital de Sabadell, de momento sólo se ha implementado el nivel 1 en el que se atienden a pacientes con nivel de urgencia 4 o 5. No obstante todos los pacientes entran al SUH y son atendidos hasta la fase de triaje. Una vez se ha indentificado su nivel de prioridad sólo son atendidos en la fase de diagnóstico-tratamiento los pacientes de tipo 4 y 5.

En el caso de los agentes que representan a los profesionales del SUH (todos salvo los pacientes), se han considerado 2 niveles de experiencia:

- 1) perfil junior: que corresponde a un nivel bajo o medio;
- 2) perfil senior: que corresponde a un nivel alto.

Ésta es una simplificación que fue apoyada por los profesionales del servicio de urgencias del Hospital de Sabadell.

El simulador incluye las cuatro áreas primarias del SUH: *admisiones*; *traje*; *zona de diagnóstico-tratamiento* (dentro de ésta las salas o boxes de atención de médicos, salas de atención de enfermeras asistenciales y zona de Rayos-X); y 4 *salas de espera* (una entre admisión y triaje; otra entre triaje y diagnóstico-tratamiento; otra dentro de la sala de diagnóstico-tratamiento; y la cuarta y última en la zona de radiología). La figura 14 muestra el aspecto de la interfaz de usuario del simulador. En la zona superior se encuentran las barras de herramientas. En el marco de la izquierda e

inferior se despliega la consola de configuración a través de la cual el usuario puede configurar la mayoría de variables y parámetros del SUH y del escenario a simular. Finalmente en la zona central se muestra la distribución del servicio de urgencias. A continuación se facilitan los detalles.

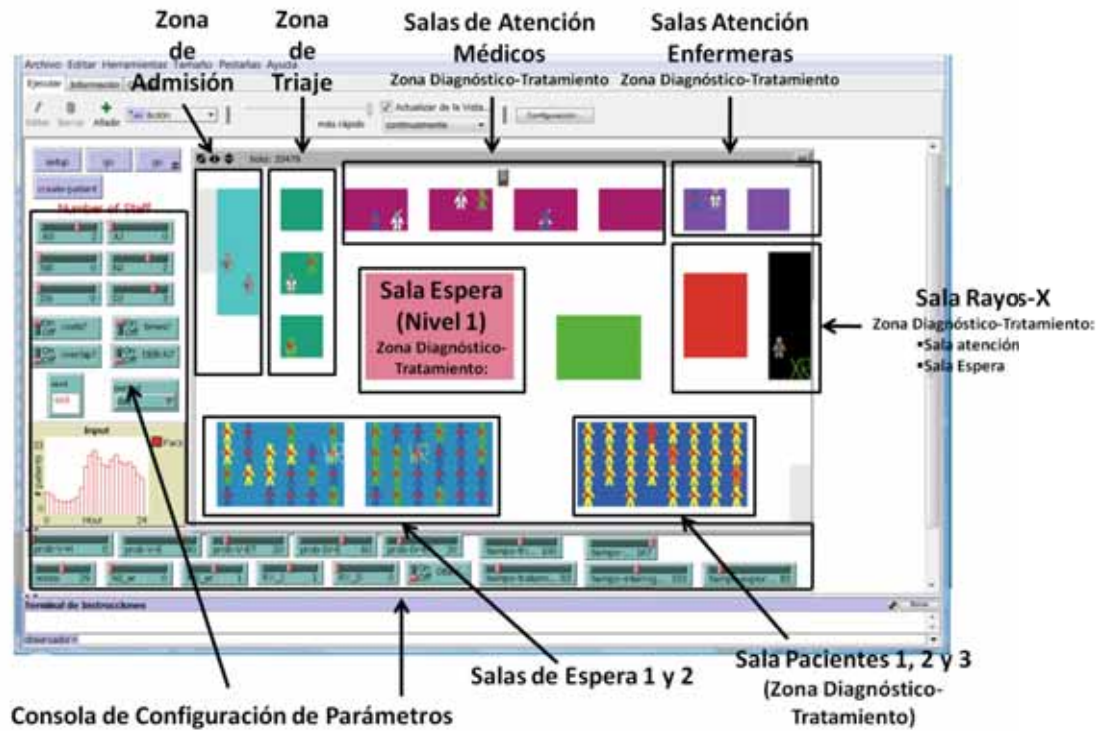


Figura 14. Captura de pantalla de la página inicial del Simulador

### 3.8.2. Inputs del simulador

El simulador lee la información relativa a la llegada de pacientes desde un fichero externo que incluye el número total de pacientes que llegan al SUH cada una de las horas del periodo de tiempo que contempla la simulación. Esta información es facilitada por el SUH que se pretenda simular. En las ejecuciones y experimentos que se han realizado hasta el momento se han considerado periodos de un día, y en consecuencia el fichero contiene información desde la hora 0 hasta la hora 23, tal y como muestra la figura 15.

Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Nº de pacientes	9	7	5	5	4	5	5	7	11	22	26	29	26	21	20	26	22	24	24	26	23	21	17	12

Figura 15. Ejemplo del contenido del fichero de “datos de entrada”.

La primera fila del fichero informa la hora o franja horaria (o a 23), y la segunda la cantidad de pacientes que entran en el SUH a lo largo de dicha hora. Dicha cantidad se distribuye a lo largo de la franja horaria en cuestión siguiendo una distribución normal.

La identificación del nivel de prioridad del paciente es muy relevante, pues las características del proceso que se sigue en la fase de diagnóstico y tratamiento, y en consecuencia los agentes que intervienen y las acciones e interacciones que tienen lugar, dependen de dicho nivel de prioridad. En un SUH la prioridad es identificada en la fase de triaje a partir de los síntomas del paciente, y de la información que recoge la enfermera que conduce el proceso. Dado que el mapa de síntomas y patologías es muy complejo, con el objetivo de simplificar tanto el modelo como la simulación, se ha optado por identificar el nivel de prioridad del paciente en la fase de triaje aplicando la información histórica facilitada por el SUH relativa a la distribución de pacientes por nivel de prioridad. Se trata de una información de la que disponen todos los SUH, que es monitorizada de manera permanente, y que tiene un comportamiento estable a largo de los 12 meses del año, a pesar de que puede tener una cierta variabilidad en algunos meses concretos del año (debido a la estacionalidad de ciertas patologías). La información correspondiente a dichos porcentajes es introducida a través del código de Netlogo. La figura 16 muestra una captura de pantalla con el código correspondiente a un ejemplo concreto en el que de la totalidad de pacientes que llegan al SUH, el 1% corresponde a pacientes de tipo 1, el 3% a pacientes de tipo 2, el 20% a pacientes de tipo 3, el 26% a pacientes de tipo 4, y el 50% a pacientes de tipo 5. El total debe sumar un 100%. En el punto de configuración de parámetros básicos se indica cómo cambiar dicha información.

```

to crear-paciente2
  if (ticks = item 0 A-queue-arrival )
  [
    if item 0 A-queue-arrival = ticks
    [
      let pac random 100 + 1
      if ( pac >= 0 ) and ( pac <= 1 ) ; 1%
      [ set pac-tipo 1 ]
      if ( pac >= 2 ) and ( pac <= 4 ) ; 3%
      [ set pac-tipo 2 ]
      if ( pac >= 5 ) and ( pac <= 24 ) ; 20%
      [ set pac-tipo 3 ]
      if ( pac >= 25 ) and ( pac <= 50 ) ; 26%
      [ set pac-tipo 4 ]
      if ( pac >= 51 ) and ( pac <= 100 ) ; 50%
      [ set pac-tipo 5 ]
    ]
  ]

```

Figura 16. Especificación en Netlogo de los porcentajes de distribución de pacientes por niveles de prioridad

En la simulación implementada se han considerado los pacientes de medicina<sup>4</sup>, y en particular aquellos pacientes que llegan al SUH por medios propios, no considerando en esta versión la llegada por medios sanitarios (en ambulancia). Esta es una simplificación muy limitada, pues el porcentaje de pacientes que llegan por medios sanitarios requiriendo de un proceso específico (pacientes críticos) está por debajo del 1%.

### 3.8.3. Funcionalidad resultante del simulador

En la simulación, los pacientes que llegan al SUH permanecen en la *sala de espera de Admisión* hasta que pueden ser atendidos por el personal de admisión. La simulación contempla 3 mostradores de admisión, tal y como ocurre en los SUH consultados. Una vez superado este proceso, pasan a ocupar la *sala de espera 1* hasta que son llamados para realizar el proceso de triaje. Tal y como ocurre en la realidad el proceso se lleva a cabo en un box (sala cerrada), y la simulación contempla que lo puedan estar realizando simultáneamente un máximo de 3 profesionales (enfermeras de triaje).

El nivel de prioridad del paciente es identificado al final del proceso. Los pacientes con nivel de prioridad 1 a 3 entran directamente al nivel 2, que ha sido representado como

---

<sup>4</sup> Después de la fase de admisión los pacientes pueden ser distribuidos en 6 grandes áreas: Medicina, Aparato locomotor, Ginecología y obstetricia, Pediatría, Psiquiatría y Quirúrgica. La separación puede responder a cuestiones de aislamiento de ciertos pacientes (psiquiatría) o a la especificidad de los recursos humanos y técnicos requeridos para atender a dichos pacientes (Aparato locomotor, Ginecología, Pediatría y Quirúrgica). Según la opinión de los expertos consultados, los pacientes de Medicina son los de menor especificidad, y en consecuencia los que requieren de recursos menos específicos.

una sala de espera que se ha situada dentro de la zona de diagnóstico-tratamiento, en la que permanecerán hasta el final de la ejecución. Los pacientes 4 y 5 pasan a ocupar la *Sala de Espera 2* hasta que un médico del Nivel 1 esté disponible y llame a un paciente para iniciar el proceso de “diagnostico-tratamiento”. Al tratarse de pacientes con nivel bajo de prioridad, Netlogo aplica un criterio FIFO<sup>5</sup>. Tal y como se ha descrito en el punto de descripción del modelo, la totalidad de pacientes pasan por una *fase inicial de interrogatorio*. De todos ellos una parte es dada de alta y abandona el SUH, y el resto permanecerán en el SUH para pasar por la fase de *exploraciones complementaria*. A través de una *consola de configuración externa* el usuario puede especificar qué porcentaje de pacientes pasarán por esta fase, pudiendo establecer un porcentaje diferente para pacientes 4 y 5.

En relación a las exploraciones complementarias, la simulación contempla la extracción de muestras (sangre u orina), la realización de electrocardiograma, y pruebas radiológicas. Las dos primeras son practicadas por enfermeras asistenciales en una sala de atención situada en la zona de diagnóstico y tratamiento. El paciente permanecerá en la sala de espera del nivel 1 hasta que la enfermera esté disponible y le llame al box de atención para practicar la extracción o el electro. El paciente regresará a la sala de espera del nivel 1 una vez la exploración haya sido completada. En caso de que se trate de una prueba radiológica, el paciente se desplaza a la zona de radiología (también situada en la zona de diagnóstico-tratamiento), permanece en la sala de espera hasta que el servicio tenga disponibilidad, y una vez se le haya practicado, regresa a la sala de espera del nivel 1.

En ambos casos una vez más se aplica el criterio FIFO, lo que significa que tanto la enfermera como el técnico de Rx atenderán en primer lugar a aquellos pacientes que lleven más tiempo esperando por la exploración. Practicadas las exploraciones el simulador controla el lapso de tiempo necesario para que estén disponibles los resultados, dato que es introducido como parámetro a través del código de Netlogo.

Transcurrido dicho lapso de tiempo la simulación registra que ya se dispone de los resultados, y en el momento que el médico tiene disponibilidad llama al paciente a la sala de atención para analizarlos con él y continuar con el proceso. Una parte de

---

<sup>5</sup> First In First Out: será atendido en primer lugar el paciente que lleve más tiempo esperando en la sala de espera 2.

pacientes son dados de alta tras la exploración y abandonan el SUH, mientras que el resto permanecerán en el SUH para pasar por la fase de “tratamiento”. La misma consola de configuración externa de la que se ha hablado anteriormente permite al usuario especificar qué porcentaje de pacientes pasarán por esta nueva fase, pudiendo establecer un porcentaje diferente para pacientes 4 y 5.

La aplicación del tratamiento es llevada a cabo por el médico en la sala de atención, y completada la acción el paciente abandona la sala y ocupa la sala de espera del nivel 1 hasta que, transcurrido un lapso de tiempo, el tratamiento produce sus efectos. El simulador controla el lapso de tiempo necesario para que esto ocurra, dato que también es introducido como parámetro a través del código de Netlogo. Transcurrido dicho lapso de tiempo el paciente ya puede ser dado de alta y abandona el SUH.

#### **3.8.4. Configuración de los parámetros básicos de la simulación**

La configuración de parámetros de la simulación se lleva a cabo a través de la consola que incluye la pantalla principal del simulador (pestaña “ejecutar”) y a través del código de NETLOGO (pestaña “código”). En la primera se configuran aquellos parámetros que permiten definir el escenario en la situación de dar respuesta a preguntas de tipo “qué pasaría si”, y que en consecuencia requieren de una mayor facilidad de acceso y modificación. A través del código se pueden modificar aquellos parámetros que tienen mayor estabilidad en las diferentes simulaciones, como por ejemplo los tiempos asociados a cada uno de las acciones llevadas por los diferentes profesionales sanitarios, los costes asociados, etc. En este punto se facilitan los detalles relacionados con ambos casos de configuración.

Los botones de acción y de configuración de la consola a la que se puede acceder desde la pantalla principal del simulador se muestran en la figura 17, tanto en la zona de la izquierda y como en la zona inferior. A continuación se analizan uno a uno cada unos de dichos botones.

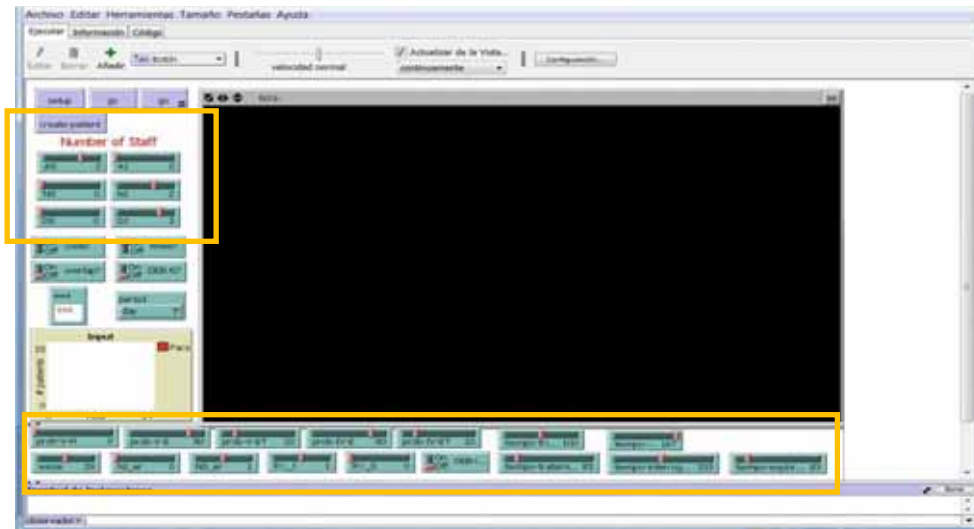


Figura 17. Consola de configuración de parámetros del SUH

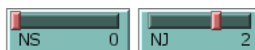
A través de los botones de la zona de la izquierda se puede definir la cantidad (respetando los mínimos y máximos de cada tipo) y nivel de experiencia de cada uno de los miembros del staff del SUH (junior o senior):

- **Personal de Admisión:** con el comando AS se definirá la cantidad de administrativos/as con perfil Senior, y con el comando AJ con perfil Junior.



*El mínimo de cada tipo será 0, y el máximo de 3. El usuario debe tener en cuenta que el total de personal de admisión (la suma de ambos) del SUH debe ser como mínimo 1 profesional y como máximo 3.*

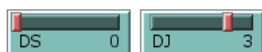
- **Enfermeras de triaje:** con el comando NS se definirá la cantidad de enfermeras con perfil Senior, y con el comando NJ con perfil Junior.



*El mínimo de cada tipo será 0, y el máximo de 3. Una vez más el total de enfermeras de triaje (la suma de ambos) será como mínimo de 1 profesional y como máximo de 3.*

- **Médicos:** con el comando DS se definirá la cantidad de médicos con perfil Senior, y con el comando DJ con perfil Junior.





*El mínimo de cada tipo será 0, y el máximo de 4. Se debe tener en cuenta que el total de médicos (la suma de ambos) del SUH será como mínimo de 1 profesional y como máximo de 4.*

- **Enfermeras asistenciales:** con el comando NS\_er se definirá la cantidad de enfermeras asistenciales con perfil Senior, y con el comando NJ\_er con perfil Junior.



*El mínimo de cada tipo será 0, y el máximo de 2. El total de enfermeras asistenciales será como mínimo de 1 profesional y como máximo de 2.*

- **Técnico de Rx:** con el comando RX\_S se definirá la cantidad técnicos con perfil Senior, y con el comando RX\_J con perfil Junior.



*El mínimo de cada tipo será 0, y el máximo 2. Una vez más el total será la suma de ambos, y el sistema obliga a que como mínimo sea de 1 y como máximo de 2.*

Mediante consola de la zona inferior se pueden definir los porcentajes de pacientes que deben pasar por la fase de exploraciones complementarias (**prob-"X"-E**, siendo "X" el tipo de pacientes, 4 o 5) y los que pasan por fase de tratamiento (**prob-"X"-ET**, siendo "X" el tipo de pacientes, 4 o 5). La consola incluye otros botones de configuración que se han desarrollado para llevar a cabo experimentaciones concretas, si bien no son comentadas en esta parte del documento (se comentarán más adelante).



La configuración de tiempos y de costes correspondientes a cada uno de los tipos y perfiles de *staff* administrativo y sanitario se realiza a través del código. En concreto

habrá que identificar el tipo de staff (pestaña código → desplegable de “procedimientos”, y dentro de éste, seleccionar el tipo de personal: Crear-admisiones; Crear-enfermera-triaje; Crear-medico; Crear-enfermera-er; Crear-rxs). La figura 18 muestra el código que permite definir los parámetros de los médicos. El marco amarillo señala las sentencias del código que permiten definir tanto tiempos como coste. En concreto:

```
set tipo-medico tipo-M
```

```
if tipo-medico = 1 [ set tiempo-interrogatorio 250 set costo-medico 1000 set
tiempo-exploracion 50 set tiempo-tratamiento 50 ] ; 250 = 15 min 50 = 3 min
```

```
if tipo-medico = 2 [ set tiempo-interrogatorio 333 set costo-medico 500 set
tiempo-exploracion 83 set tiempo-tratamiento 83 ] ; 350 = 21 min 333 = 20
min 83 = 5 min
```



Figura 18. Código que permite definir los parámetros de tiempo y coste de los diferentes perfiles de médicos

El médico tipo 1 corresponde a perfil senior, y el tipo 2 a perfil junior. El tiempo de los médicos queda definido por el tiempo requerido para completar la fase interrogatorio (set tiempo-interrogatorio), la fase de exploración (set tiempo-exploracion) y la de

tratamiento (set tiempo-tratamiento)<sup>6</sup>. Cuanto mayor sea la experiencia del profesional (en este caso el médico) menor cantidad de tiempo requerirá para completar un mismo proceso (o etapa de éste). En el ejemplo que se incluye los tiempos son recogidos en la tabla 4:

Tabla 4. Tiempos necesarios para completar las 3 fases desarrolladas por los médicos, para los 2 niveles de experiencia (Senior y Junior). El tiempo se expresa en Tics y en minutos (información que se muestra entre paréntesis).

Perfil del médico	T. Interrogatorio	T. Exploración	T. Tratamiento
Senior	250 (15 min)	50 (3 min)	50 (3 min)
Junior	333 (21 min)	83 (5 min)	83 (5 min)

En la implementación llevada a cabo un día (24 horas) equivale a 24.000 Tics, es decir, 1 hora (60 minutos) equivale a 1.000 Tics. De forma que la equivalencia entre el tiempo expresado en minutos y Tics puede calcularse a partir de las ecuaciones 1 y 2:

$$Tiempo (Tics) = \frac{1.000 \text{ Tics}}{60 \text{ minutos}} \times Tiempo (minutos) \quad (Ec 1)$$

$$Tiempo (minutos) = \frac{60 \text{ minutos}}{1.000 \text{ Tics}} \times Tiempo (Tics) \quad (Ec 2)$$

En lo relativo al coste (salario), se define a través de la sentencia

set costo-“agente” “importe”

en la que “agente” debe ser sustituido por el identificador del profesional del servicio de urgencias (admisión, enfermera, médico, etc), y “costo” por el importe del su salario.

Finalmente, si se desea modificar los porcentajes relativos a la tipología de pacientes atendidos (1 a 5), tendremos que seleccionar la opción “Crear-paciente2” de entre las opciones disponibles en el desplegable “procedimientos” (pestaña código →

---

<sup>6</sup> En Netlogo el tiempo se mide en “Tics”. Cada TIC representa una unidad de tiempo. En nuestro caso concreto hemos considerado que 1 hora equivale a 1.000 TICs, o lo que es lo mismo, 1 minuto equivale a aproximadamente 17 Tics (16,67 Tics). Para mayor claridad y transparencia al lado del código se ha incluido un comentario con las equivalencias

desplegable de “procedimientos”). Nos mostrará la información relativa a la última configuración guardada, en nuestro ejemplo:

```
to crear-paciente2
  if (ticks = item 0 A-queue-arrival )
  [
    if item 0 A-queue-arrival = ticks
    [
      let pac random 100 + 1
      if ( pac >= 0 ) and ( pac <= 1 ) ; 1%
      [ set pac-tipo 1 ]
      if ( pac >= 2 ) and ( pac <= 4 ) ; 3%
      [ set pac-tipo 2 ]
      if ( pac >= 5 ) and ( pac <= 24 ) ; 20%
      [ set pac-tipo 3 ]
      if ( pac >= 25 ) and ( pac <= 50 ) ; 26%
      [ set pac-tipo 4 ]
      if ( pac >= 51 ) and ( pac <= 100 ) ; 50%
      [ set pac-tipo 5 ]
```

que significa que de los pacientes que entran en el SUH (información leída del fichero de datos de entrada), considerará que el 1% corresponde a pacientes de tipo 1, el 3% a pacientes de tipo 2, el 20% a pacientes de tipo 3, el 26% a pacientes de tipo 4 y el 50% a pacientes de tipo 5. El total debe sumar 100%. En caso de que se quieran modificar dichos porcentajes el usuario deberá cambiar los tramos que permiten su cálculo (a través de los intervalos de mínimo y máximo se especifica los puntos de porcentaje). El valor máximo de un tramo concreto, condiciona el mínimo del tramo siguiente. Veámoslo a través del ejemplo que se incluye:

En el caso de pacientes de tipo 1, el valor mínimo siempre será “0”, y el máximo será el resultado de sumar al mínimo los puntos correspondientes. Al ser un 1% el máximo será 1. Por tanto la sentencia será:

```
if ( pac >= 0 ) and ( pac <= 1 ) ; 1%
```

```
[ set pac-tipo 1 ]
```

En el caso de pacientes tipo 2 el porcentaje es del 3%. El mínimo será el valor entero inmediato siguiente al máximo del tramo anterior (en este caso 2), y como el rango incluye 3 puntos porcentuales, el valor máximo será de 4 (2, 3 y 4):

```
if ( pac >= 2 ) and ( pac <= 4 ) ; 3%  
[ set pac-tipo 2 ]
```

Una manera más sencilla de automatizar la identificación del valor correspondiente al extremo superior es mediante la expresión o fórmula:

Valor de extremo inferior + puntos porcentuales del tipo de pacientes – 1  
que para el caso que estamos analizando sería:  $2 + 3 - 1 = 4$ . De igual manera se podrá hacer para el resto de tipo de pacientes. Así para pacientes de tipo 3 (20%) el mínimo será 5 y el máximo 24 ( $5 + 20 - 1 = 24$ ), para pacientes de tipo 4 (26%) el mínimo será 25 y el máximo 50 ( $25 + 26 - 1 = 50$ ), y para pacientes de tipo 5 (50%) el mínimo será 51 y el máximo 100 ( $51 + 50 - 1 = 100$ ). Cabe decir que el valor máximo del rango de variación correspondiente a pacientes de tipo 5 siempre deberá ser 100.

### 3.8.5. Carga de la configuración y ejecución de simulación

Una vez configurados los parámetros, para llevar a cabo la ejecución de la simulación se deberá cargar dicha configuración clicando encima del botón “setup” (dentro de la pestaña “Ejecutar”). El simulador mostrará en pantalla el *lay-out* correspondiente a la configuración definida. A modo de ilustración la figura 19 muestra una captura de pantalla correspondiente a un SUH con 2 administrativos en admisión con perfil senior, 2 enfermeras de triaje con perfil junior, 3 médicos con perfil junior, 1 enfermera asistencial con perfil senior, y 1 técnico de Rx con perfil junior.

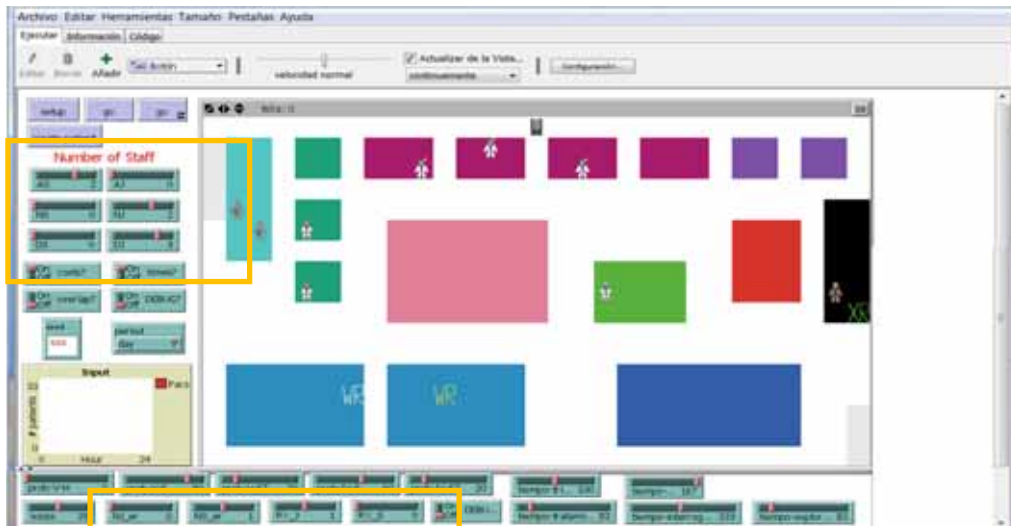


Figura 19. Imagen de la pantalla principal una vez se ha cargado la Configuración del SUH previa ejecución de la simulación

En último lugar se puede seleccionar si se desea que Netlogo muestre en pantalla el estado del SUH después de cada Tic (actualizar la vista)<sup>7</sup> y la velocidad de ejecución. Para ejecutar la simulación habrá que pinchar encima de “GO”. Netlogo contempla dos modos de ejecución:

- A) modo paso a paso (“Go”): ejecuta un solo Tic, de manera que sólo avanza 1 paso o unidad de tiempo;
- B) modo continuo (“Go continuado”): ejecuta la simulación hasta su finalización o hasta que el usuario la interrumpa pulsando encima del botón “Go”.

### 3.8.6. Información de salida

Netlogo registra el valor que toman todas las variables del modelo objeto de simulación a lo largo de todos los TICs o unidades de tiempo que dure la ejecución de dicha simulación. A través del código se pueden concretar los detalles de información de salida que se considere necesario, información que que puede ser recuperada para su procesamiento y visualización posterior con las herramientas adecuadas (hojas de

<sup>7</sup> La actualización de pantalla tiene como ventaja el hecho de que permite visualizar como se comporta el sistema, y así detectar si responde a lo esperado o no. Pero tiene como inconveniente que requiere de mayores recursos del sistema, con lo que el tiempo requerido para completar la ejecución será mayor. Ejecuciones realizadas con una misma configuración en diferentes sistemas permite concluir que ejecutar con visualización conlleva un aumento del tiempo requerido del alrededor del 34,5% en relación a hacerlo sin visualización (1min 50 segundos frente a 2 min 03 segundos).

cálculo, aplicaciones de tratamiento estadístico de información, etc). En particular Netologo incluye un enlace con “matemática”.

En la implementación desarrollada se ha diseñado un *informe de simulación* que se genera al finalizar la ejecución y que recoge el siguiente detalle de información:

- Identificación de la ejecución: de gran utilidad cuando se realiza simulación paramétrica
- Resumen de los pacientes que ha creado en cada una de las 24 horas: información que permite verificar si se ha considerado la información incluida en el fichero de “Datos de Entrada”.
- Valor de la semilla que se ha tenido en cuenta.
- Información resumen relativa a la configuración: cantidad y perfil del staff, tiempos considerados en cada uno de los procesos realizados (para cada uno de ellos), coste (salario). Finalmente informa del coste total de la configuración del SUH (necesario para los experimentos de optimización).
- Cantidad total de pacientes de cada tipo atendidos (que completan totalmente el proceso del SUH durante la ejecución), tiempo medio de atención (calculado para cada tipo de pacientes), y Desviación Estándar Muestral de dichos tiempos. Esta es una información necesaria para el proceso de sintonización que se describe más adelante.
- Cantidad de pacientes que permanecen en cada zona del SUH: Al final de cada una de las 24 horas de actividad, informa de la cantidad total de pacientes que permanece en las diferentes zonas. Se trata de una información muy útil para analizar como evoluciona la saturación del servicio a medida que avanza la ejecución.
- TIC de entrada, TIC de salida y tiempo de permanencia en cada zona: Para cada uno de los pacientes que han entrado al SUH durante la ejecución, informa de la hora de entrada, hora de salida (en caso de haber completado el proceso durante la ejecución), y el tiempo que permanece en cada una de las zonas del servicio (en el caso de salas de atención, equivale al tiempo durante el cual interactúa con el profesional que le atiende en dicha zona).

### **3.8.7. Transitorio y Estado Estacionario**

El SUH ofrece servicio de manera ininterrumpida (24 horas al día x 7 días a la semana), por lo que nunca se da la situación en la que el sistema comience su actividad desde cero (salvo por supuesto el primer día de actividad del SUH). Es por ello que para la validez de los resultados y de las conclusiones que se puedan extraer de su análisis resulta indispensable realizar un calentamiento del sistema. Para incorporarlo en la simulación se ha considerado un periodo total de ejecución de 36 horas, de forma que las 12 primeras horas son el periodo de calentamiento<sup>8</sup>, y la información de salida que se ha configurado sólo contempla lo ocurrido a partir de entonces (primer segundo a partir de la hora 12) y hasta la hora 36, considerando así el periodo de actividad de 1 día (24 horas). De esta forma en el cómputo de todas las variables que se generan se tiene en cuenta como situación inicial del SUH (pacientes esperando en las diferentes salas de espera) las correspondientes a su estado estacionario, que se alcanzará después de las 12 primeras horas de actividad.

## **3.9. VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO Y DEL SIMULADOR**

Tomando las definiciones de Sargent [59] la verificación del modelo consiste en el conjunto de tareas que persiguen confirmar que la implementación del modelo en el simulador se ha llevado a cabo de forma correcta, es decir, el modelo computacional se comporta como el modelo conceptual. Según dicho autor la validación es el proceso a través del cuál se determina si el modelo conceptual y el modelo computacional representan de forma apropiada el sistema real, en nuestro caso el SUH. La figura 20 muestra visualmente las etapas en que se divide la verificación y validación del proceso de modelado.

El modelo conceptual proporciona una funcionalidad emergente del SUH que de forma cualitativa (operatividad y tendencias) ha sido validado por el personal médico responsable del SUH con el que se ha colaborado durante el desarrollo. La posterior

---

<sup>8</sup> Periodo de calentamiento: tiempo que ha de transcurrir desde el comienzo de la actividad del SUH hasta que alcanza su estado estacionario de operación.





simulador (modelo computacional), y ha sido llevada a cabo con la participación de profesionales del SUH del Hospital de Sabadell. Las técnicas aplicadas han sido:

- Visualización del comportamiento operativo del modelo para poder realizar el análisis cualitativo, es decir, mostrar visualmente durante la ejecución de la simulación el comportamiento de los diferentes agentes y elementos que forman el modelo.
- Realización de pruebas de consistencia (“Degenerate Tests”), es decir el conjunto de pruebas que se describen más adelante, y que han permitido constatar que tanto el modelo conceptual como el modelo computacional reaccionan de forma coherente a cambios en la configuración (por ejemplo que un aumento en la cantidad de recursos humanos permite mejorar los tiempos de atención y aumentar la cantidad de pacientes atendidos), cambios en los datos de entrada (por ejemplo, que un aumento en la llegada de pacientes tiende a saturar el SUH).
- Validación subjetiva de expertos: tal y como ya se ha comentado, responsables del servicio de urgencias del Hospital de Sabadell han participado de manera activa a lo largo de todo el proceso, verificando que efectivamente el modelo propuesto recoge los elementos clave de un SUH, validando e incluso proponiendo las simplificaciones a introducir, y que el comportamiento del simulador se asemeja al de un SUH real.

### **3.9.1. Pruebas de consistencia**

Se han realizado tres tipos diferentes de pruebas con el objetivo de analizar la reacción del simulador ante cambios en las variables que influyen de manera relevante sobre el SUH:

#### **A) Análisis de los efectos sobre las prestaciones del SUH de cambios en la llegada de pacientes, manteniendo inalterables los recursos disponibles.**

Manteniendo constante la configuración relativa a cantidad y perfil de profesionales (1 persona en admisión; 2 enfermeras de triaje; 4 médicos; todos con perfil junior) se han considerado 4 escenarios diferentes de llegada de

pacientes: 93, 190, 284 y 397 pacientes por día (fila A de la tabla 4), y se ha simulado el equivalente a un día de actividad. El detalle de los resultados obtenidos se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados obtenidos con una cantidad fija de personal del SUH, para una llegada creciente de pacientes (prueba A)

A- Total pacientes que llegan a SUH	<b>93</b>	<b>190</b>	<b>284</b>	<b>397</b>
B- Total pacientes que completan proceso	90	184	271	271
Para pacientes que completan el proceso:				
C- Tiempo medio de estancia en SUH (en horas)	0,54	0,54	1,08	3,95
D- Tiempo medio de estancia en SE1	0	0	0,04	0,98
E- Tiempo medio de estancia en SE2	0	0	0,52	2,44
F- Pacientes en SE1 al acabar simulación	0	0	1	46
G- Pacientes en SE2 al acabar simulación	0	0	8	74

El comportamiento del SUH ha sido medido a través de: a) el número total de pacientes atendidos durante el periodo de tiempo simulado, 1 día de actividad (este dato se muestra en la fila B); b) el tiempo medio de estancia de dichos pacientes en el SUH expresado en horas (fila C); c) el tiempo medio de estancia en las diferentes salas de espera 1 y 2 (SE1 y SE2), expresado también en horas (filas D y E); d) y la cantidad de pacientes que permanecen en las diferentes salas de espera al finalizar la ejecución (filas F y G). Tal y como se esperaba, con el aumento de la llegada de pacientes, al permanecer constante la cantidad de profesionales disponibles en el servicio, el sistema tiende a saturarse, es decir, el tiempo medio de atención de los pacientes aumenta (pasa de 0,54 horas en el escenario de menor llegada a 3,95 horas en el escenario de mayor llegada), y el número de pacientes que permanecen en las salas de espera también crece. En los dos primeros escenarios (llegada de 93 y 190 pacientes) los pacientes son atendidos sin tener que esperar, y se observa que algunos de los profesionales sanitarios están ociosos. En el tercer escenario (llegada de 284 pacientes) al final de la simulación hay 9 pacientes que permanecen en las salas de espera (1 en la sala 1 y 8 en la sala 2), si bien parece un número poco significativo (sólo representa un 3,2 % de los pacientes que han llegado al servicio). Los problemas significativos se observan en el cuarto escenario

(llegada de 397 pacientes), en el que el tiempo medio de permanencia en el SUH pasa a ser de 3,95 horas (dato que representa un aumento del 265% en relación al tercer escenario), y permanecen en las salas de espera 120 pacientes, que representan un 30% de los pacientes que han llegado al servicio de urgencias, y un aumento del 1233% en relación a los pacientes en salas de espera en el escenario anterior, si bien el número de pacientes que llegan al servicio en este escenario sólo aumenta un 39,70 % en relación al anterior. El tiempo medio de permanencia en la salas de espera también aumenta de forma significativa en el cuarto escenario en relación a los valores del tercero. En resumen, que de forma acorde a lo que se esperaba, el SUH tiende a saturarse a medida que aumenta la cantidad de pacientes que llegan al servicio, y en particular, que la cantidad de profesionales que se ha tenido en cuenta parece ser adecuada hasta una llegada de pacientes de hasta 284, resultando insuficiente para atender una llegada de 397 pacientes/día.

**B) Análisis de los efectos sobre las prestaciones del SUH de cambios en el nivel de experiencia de los profesionales del servicio de urgencias.**

Para llevar a cabo este análisis se ha mantenido invariable tanto la cantidad de pacientes que llegan al servicio como la cantidad de profesionales (1 persona en admisión; 1 enfermera de triaje; 2 médicos). Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 5. La primera columna identifica numéricamente la configuración de la ejecución, en las 6 siguientes se especifica el nivel de experiencia de los profesionales del SUH, y en las 7 últimas se recogen los resultados, utilizando los mismos indicadores de comportamiento del SUH que los utilizados en la experimentación anterior, siguiendo el detalle que se especifica en la primera columna de la tabla 4 (A- Total pacientes que llegan al servicio durante la ejecución; B- Total pacientes que completan el proceso durante la ejecución; C – Tiempo medio de estancia en el SUH; etc). Tal y como se esperaba la configuración que permite atender el menor número total de pacientes con un tiempo de estancia en el servicio peor corresponde a la configuración en la que todos los profesionales disponen de una menor

experiencia (configuración 1, con un total de 135 pacientes atendidos, y una estancia media en el servicio de 7,8 horas). Por el contrario la configuración que permite obtener mejores resultados es la 12, en la que todos los profesionales disponen de un nivel máximo de experiencia, permitiendo atender a un total de 182 pacientes (representando un aumento del 37% en relación a la configuración 1), y una estancia media en el servicio de 6,52 horas (lo que representa una reducción del 16,02% en relación a la configuración 1). Analizando con detenimiento los resultados se pueden extraer conclusiones muy interesantes. En primer lugar que el sistema es más sensible a cambios en el nivel de experiencia de los médicos que a cambios en el nivel de experiencia del resto de personal. En segundo lugar que para reducir el tiempo medio de estancia en la Sala de Espera 1 se tiene que mejorar el nivel de experiencia de las enfermeras de triaje sin actuar sobre el nivel de experiencia del personal de admisión. Algo parecido ocurre en la Sala de Espera 2, esta vez mejorando el nivel de experiencia de los médicos, sin alterar el de las enfermeras de triaje.

Tabla 6. Resultados obtenidos con una experiencia variable de personal del SUH, permaneciendo invariables la cantidad de profesionales y la llegada de pacientes (Prueba B)

	AS		TN		D		A	B	C	D	E	F	G
	Jr	Sr	Jr	Sr	Jr	Sr							
1	1		1		2		397	135	7.8	4.83	2.45	222	37
2	1		1		1	1	411	157	7.35	5.94	0.93	236	14
3	1		1			2	384	172	6.71	6.27	0	209	0
4	1			1	2		404	136	8.26	2.72	5.4	160	105
5	1			1	1	1	394	159	7.29	2.9	3.96	129	82
6	1			1		2	409	182	6.82	3.55	2.87	165	59
7		1	1		2		400	135	8.17	5.21	2.44	225	38
8		1	1		1	1	382	157	7.06	5.67	0.93	207	14
9		1	1			2	397	172	6.95	6.49	0	222	0
10		1		1	2		420	136	8.38	2.85	5.06	176	105
11		1		1	1	1	389	159	7.33	2.94	3.96	145	82
12		1		1		2	404	182	6.52	3.27	2.87	160	59

C) Análisis de los efectos sobre las prestaciones del SUH de cambios en la cantidad de profesionales del servicio de urgencias.

En un tercer experimento se ha analizado cómo afectan sobre las prestaciones del SUH cambios en la cantidad de profesionales del SUH. Para llevar a cabo este análisis se ha mantenido invariable su nivel de experiencia. Se han realizado ejecuciones correspondientes a 11 configuraciones diferentes, en cada una de ellas cambiando el número de profesionales, teniendo en cuenta la restricción de que en una fase concreta del proceso siempre se tienen que utilizar una cantidad igual o mayor que la utilizada en la fase inmediata anterior. Los resultados obtenidos son recogidos en la tabla 7, cuya estructura es similar a la de la tabla 5. Los peores resultados corresponden a la configuración 1, la de menor cantidad de profesionales. En esta se atienden un total de 135 pacientes, alcanzando un tiempo medio de atención de 7,8 horas. La configuración que permite obtener mejores resultados es la 11, en la que se dispone de la mayor cantidad de profesionales. En esta se atienden un total de 271 pacientes, con un tiempo medio de estancia en el SUH de 3,8 horas. Por tanto un aumento de 5 profesionales (1 persona en admisión, 2 enfermeras de triaje y 2 médicos) genera un aumento del 100% en el número de pacientes

Tabla 7. Resultados obtenidos con una cantidad variable de profesionales del SUH, permaneciendo invariables su nivel de experiencia y la llegada de pacientes (prueba C)

	AS	TN	D	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	2	397	135	7.8	4.8	2.5	222	37
2	1	2	2	399	135	8.2	0.7	7	48	212
3	1	2	3	398	203	5.8	0.6	4.7	48	143
4	1	2	4	397	271	4	1	2.4	46	75
5	1	3	3	397	203	6.1	0	5.6	0	188
6	1	3	4	406	271	4.3	0	3.8	0	128
7	2	2	2	382	135	7.6	0.3	6.8	36	207
8	2	2	3	404	203	6.3	1	4.7	53	143
9	2	2	4	390	271	4	1	2.4	40	77
10	2	3	3	389	203	5.7	0	5.2	0	181
11	2	3	4	406	271	3.8	0	3.3	1	128

atendidos, y una reducción del 51,28% en el tiempo medio de atención. Dado que el aumento de profesionales es proporcionalmente mayor en la zona de triaje que en la de diagnóstico-tratamiento, se observan una mejora de comportamiento de la Sala de Espera 1 (el tiempo de espera es nulo y no hay

pacientes en la sala al final de la ejecución) y un empeoramiento de la Sala de Espera 2 (el número de pacientes esperando pasa de 37 a 128, y los tiempos de permanencia en dicha sala de 2,45 horas a 3,27). También se observa que las configuraciones 2 y 7 permiten obtener unos resultados muy parecidos a los de la configuración 1, pero haciendo uso de una mayor cantidad de profesionales. En la franja de mejores resultados, en las configuraciones 4, 6 y 9 se atiende un número de pacientes muy parecido a la configuración de mejor resultados, pero hacen uso de una menor cantidad de profesionales. Sin embargo el tiempo medio de estancia en el servicio es algo mayor (9 minutos en las configuraciones 4, 6 y 9, y 32 minutos en la configuración 6). Se trata de una información de gran utilidad y a tener en cuenta por los responsables del SUH en la potencial situación de toma de decisiones.

Los resultados obtenidos en los tres experimentos, valorados de forma cualitativa, están alineados con las expectativas y experiencia de los que los responsables del SU del Hospital de Sabadell (Corporació Sanitària del Parc Taulí), y en consecuencia permiten validar cualitativamente el modelo conceptual y el modelo computacional. Pero adicionalmente ofrecen una información de interesante utilidad para la toma de decisiones operativas que tienen que llevar a cabo los responsables de los SUH. Esto es, que el aumento de la cantidad de profesionales y/o la mejora de su nivel de experiencia conducen a un aumento gradual en el número de pacientes atendidos. Además la reducción de los tiempos de estancia en las diferentes salas de espera requiere de una distribución equilibrada tanto de la cantidad de profesionales como de sus niveles de experiencia. Es decir, que la escasez de recursos disponibles puede ser en parte paliada con el uso de profesionales de más experiencia.

### **3.9.2. Validación del modelo**

Tal y como se ha dicho con anterioridad el método de validación más definitivo es la comparación de los outputs o datos de salida obtenidos mediante la simulación con los que corresponden al Sistema Real. En nuestro caso la validación se lleva a cabo a través del proceso de sintonización entre el simulador (que representa el modelo

computacional) y el sistema real que se presenta y valida experimentalmente en el siguiente capítulo.

Se trata de un proceso dividido en 2 etapas que es llevado a cabo a partir de dos conjuntos independientes de datos correspondientes al sistema real. En la primera etapa, y a partir del primer conjunto de datos, se lleva a cabo el ajuste de los parámetros internos del simulador, identificando aquellos que permiten que su comportamiento alcance un nivel de similaridad suficiente con el comportamiento del SUH con el que se esté sintonizando. En esta fase en primer lugar se introducirán en el simulador las variables de configuración del sistema real (número de mostradores de admisión; número de salas de atención en zona de triaje y de diagnóstico-tratamiento; cantidad de cada uno de los tipos de profesionales del SUH, indicando también su nivel de experiencia, etc) y los datos de entrada correspondiente al periodo simulado (cantidad de pacientes que entran en el SUH a lo largo de cada una de las 24 horas del día; distribución de pacientes por tipo o nivel de prioridad). Hecho esto se iniciará el proceso de simulación paramétrica descrito en el capítulo 4<sup>9</sup>, que permite identificar los valores de los tiempos que cada uno de los tipos de agentes del SUH necesitan para completar las diferentes etapas del proceso, en concreto aquellos que permiten que permiten alcanzar el mejor índice de similaridad entre simulador y sistema real.

En la segunda etapa se evaluará la capacidad predictiva del simulador. Para ello se utilizará el segundo conjunto de datos del sistema real (configuración del sistema real y datos de entrada), correspondiente a un periodo diferente al que se ha tenido en cuenta en la etapa de ajuste de parámetros. Se confirmará si los resultados obtenidos en la simulación se asemejan de manera suficiente con los del sistema real, y en caso de que así sea, se habrá completado el proceso de validación de manera que el simulador estará disponible para ser utilizado como DSS en el SUH con el que haya sido sintonizado.

En las dos etapas descritas (ajuste de parámetros y evaluación de la capacidad predictiva) se comparará si la sensibilidad del simulador y la del sistema real a cambios

---

<sup>9</sup> El proceso de simulación paramétrica consiste en el lanzamiento de tantas simulaciones como combinaciones posibles de los valores de los parámetros internos del simulador, con el objetivo de identificar los tiempos que cada uno de los tipos de agentes del SUH necesitan para completar las diferentes etapas del proceso, en concreto aquellos que permiten que los valores de salida del simulador y sistema real alcancen un nivel de similaridad suficiente.



de los datos de entrada y en los parámetros internos se asemejan de manera suficiente.

Precisamente el proceso de sintonización permite que la simulación pueda ser utilizada como componente principal de DSS en diferentes SUH. La metodología de sintonización propuesta se presenta exhaustivamente a nivel conceptual y se valida experimentalmente en los siguientes capítulos.

# Metodología de sintonización propuesta

### *Resumen*

Una vez implementado el modelo en el entorno de simulación su validación exhaustiva se lleva a cabo a través de un proceso de sintonización entre simulador y sistema real. Se trata de un proceso dividido en 2 fases, una inicial de *ajuste de parámetros*, y una posterior que permite verificar la *capacidad predictiva del simulador*. Para llevar a cabo ambas etapas resulta indispensable disponer de datos de entrada y salida del Sistema Real correspondientes a periodos distintos (por lo menos dos, un set para realizar la fase de ajuste y otro para realizar la fase de validación de la capacidad predictiva). En este capítulo se describen los detalles de la metodología de sintonización que se propone, y se presentan los resultados de la experimentación realizada para confirmar la validez de dicha metodología.

## 4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA DE SINTONIZACIÓN

La validación exhaustiva del modelo y del simulador se lleva a cabo a través de un proceso de sintonización entre simulador (modelo computacional) y sistema real. Se trata de un proceso dividido en 2 etapas, una inicial de ajuste de parámetros, y una posterior que permite verificar la capacidad predictiva del simulador, y en consecuencia, su capacidad para ser utilizado como herramienta de ayuda a la toma de decisiones por los responsables del SUH con el que haya sido sintonizado.

Para llevar a cabo la fase de ajuste de parámetros deben ser cargadas las variables que definen la dimensión del SU real:

- Cantidad de recursos técnicos: puntos admisión, Boxes de triaje, Boxes de atención, etc.;
- Cantidad y tipología (nivel de experiencia) de los recursos humanos: personal admisión, enfermeras triaje, médicos, etc.
- Datos de entrada o inputs: es decir, la cantidad de pacientes que han llegado al SU durante el periodo objeto de simulación (en nuestro caso estamos considerando un día de actividad), así como su distribución temporal y su nivel de prioridad.

También se necesita disponer de los datos de salida (Outputs) correspondientes al periodo de tiempo considerado. En particular:

- La cantidad y nivel de prioridad de los pacientes tratados durante el periodo de tiempo considerado.
- Los tiempos de atención total en el SUH de cada uno de dichos pacientes, y en caso de que sea posible (no siendo indispensable), los tiempos de permanencia en cada una de las fases del proceso.
- La cantidad de pacientes que salen del SUH en cada una de las horas del periodo de tiempo considerado, identificando también su nivel de prioridad.

Como resultado de esta etapa se identificarán los tiempos requeridos por el personal del SU para completar las diferentes etapas del proceso que permiten que los valores de salida del simulador y sistema real alcancen una nivel de similaridad suficiente.

Para la realización de la etapa de validación de capacidad predictiva es necesario disponer de datos de entrada y salida del Sistema Real correspondientes a un periodo distinto. Se introducirán en el simulador los valores que definen la dimensión del SU real (relativa a de recursos técnicos y humanos), los datos de entrada, y se utilizarán los valores de los parámetros (tiempos necesarios por cada tipo de individuos del Staff del SU para completar las diferentes etapas del proceso) obtenidos en la fase de ajuste. Se realizarán las simulaciones y se compararán los datos de salida del simulador y sistema real para verificar que alcanzan un nivel de similaridad suficiente. En caso de que así sea el simulador estará en condiciones de ser usado como DSS en el SUH para el cual se ha llevado a cabo la sintonización.

A continuación se presentan los detalles de la etapa de ajuste de parámetros y después los relativos a la etapa de evaluación de la capacidad predictiva.

#### **4.1.1. Etapa de ajuste de parámetros**

Tal y como se ha descrito en la introducción, el objetivo de esta etapa es identificar los tiempos que cada uno de los tipos de agentes del SUH necesitan para completar las diferentes etapas del proceso, en concreto aquellos que permiten que los valores de salida del simulador y sistema real alcancen un nivel de similaridad suficiente.

Para realizarla se necesita disponer de información del Sistema Real correspondiente a un periodo de tiempo pasado. En concreto la información necesaria es la siguiente:

- **Variables de configuración del SUH:** El tamaño o configuración del servicio de urgencias es determinado especificando las siguientes variables:
  - a. Cantidad y nivel de experiencia de cada uno de los miembros del staff del servicio de urgencias. En el caso particular de la versión del simulador que se ha implementado:

- personal administrativo de admisión
  - enfermeras de triaje
  - médicos que intervienen en el Nivel 1<sup>10</sup>
  - enfermeras asistenciales que intervienen en el nivel 1
  - técnicos de radiología
- b. Cantidad de recursos técnicos. En el caso particular de la versión del simulador que se ha implementado:
- puntos o mostradores de atención en la zona de admisión
  - boxes o salas de triaje
  - boxes o salas de atención de médicos (zona de “diagnóstico-tratamiento”)
  - boxes o salas de atención de enfermeras (zona de “diagnóstico-tratamiento”)
  - salas de radiología
- **Datos de entrada o inputs:** nos referimos a la información relativa a la llegada de pacientes. En concreto se necesita disponer de la siguiente información:
- a. Cantidad de pacientes que han llegado al servicio durante las 24 horas del día, que es el periodo de tiempo simulado.
  - b. Para el periodo de tiempo considerado, la distribución porcentual de pacientes por niveles de prioridad o urgencia. Es decir, teniendo en cuenta los pacientes atendidos en el servicio, el porcentaje que cada uno de los 5 tipos de prioridad representa en relación al total de pacientes atendidos.
  - c. En relación al nivel 1 de la zona de diagnóstico-tratamiento, la proporción de pacientes que han pasado por la fase de exploraciones complementarias, y la proporción que han recibido un tratamiento. En

---

<sup>10</sup> El nivel 1 es una subzona de la zona de diagnóstico-tratamiento en la que se atienden a los pacientes con nivel de prioridad 4 y 5.

caso que la información sea distinta para pacientes 4 y 5 se necesitará el detalle.

- **Datos de salida (outputs):** es decir, información que permita medir los resultados de la actividad llevada a cabo por el SUH. En nuestro caso particular se necesita disponer de la siguiente información:
  - a. La cantidad de pacientes tratados durante el periodo de tiempo considerado, así como su nivel de prioridad.
  - b. El tiempo total de permanencia en el SUH de cada uno de dichos pacientes, y en caso de que sea posible (no siendo indispensable), los tiempos de permanencia en cada una de las fases del proceso. En su defecto será suficiente con los tiempos medios de atención (para cada uno de los niveles de prioridad), así como su desviación estándar muestral.
  - c. La cantidad de pacientes que salen del SUH en cada una de las horas del periodo de tiempo considerado, identificando también su nivel de prioridad.

En primer lugar debe ser introducida en el simulador la información relativa a las variables de configuración (cantidad y tipología de pacientes). Siguiendo las indicaciones facilitadas en el apartado 3.8 (El Simulador) se introducirá la información relativa a cantidad y tipología de profesionales del SUH. La información relativa a la distribución de pacientes atendidos por tipología deberá ser introducida a través de código de Netlogo. Finalmente la información relativa a la llegada de pacientes permitirá actualizar el contenido del fichero de “Datos de Entrada” (Input\_Data).

A continuación se realiza el proceso de “simulación paramétrica”, es decir, se lanzará la batería de simulaciones. Cada simulación corresponde a una combinación o configuración de tiempos, de forma que en cada una de las configuraciones cambia el

tiempo de “uno” de los profesionales del SUH (el resto permanecerá invariable), y hasta recorrer todas las combinaciones (configuraciones) posibles.

El número de simulaciones a realizar dependerá del número de actividades de los agentes cuya duración o tiempo pueda cambiar, del rango de variación que se quiera considerar, y del nivel de precisión que se quiera conseguir. En el caso particular de la versión del simulador que se ha implementado:

- En la versión de la simulación (modelo computacional) implementada, el número de variables que caracterizan los tiempos de las diferentes funciones que cada uno de los tipos de personal del SUH es de siete: 1) Admisión; 2) Triage; 3) Médico-Interrogatorio; 4) Médico-Exploración Complementaria; 5) Médico-Tratamiento; 6) Enfermera-Exploración complementaria; 7) Realización de prueba radiológica.
  
- En relación al rango de variación, queda definido por la duración mínima y máxima del proceso concreto, información que puede ser facilitada por el SUH a partir de la información de que disponga, o de la experiencia de los profesionales, que habitualmente permiten identificar el intervalo de tiempo medio requerido. A partir de este dato se pueden establecer los valores mínimos y máximos de variación (contando con la experiencia de los profesionales). Para el caso particular del servicio de urgencias del Hospital de Sabadell (Corporación Sanitaria del Parc Taulí), los valores medios reportados han sido:
  - Fase de admisión: aproximadamente 3 minutos, salvo que haya alguna complicación.
  - Fase de triaje: alrededor de 6 minutos.
  - Fase de interrogatorio que realiza el médico es el de mayor duración, y supone alrededor de 20 minutos.
  - Radiología: la realización de la prueba radiológica conlleva unos 8 minutos.

- La realización de las pruebas complementarias por parte de la enfermera asistencial supone aproximadamente unos 8 minutos.
- El análisis de los resultados de las pruebas y diagnóstico previo conlleva unos 7 minutos.
- El análisis final de la evolución del tratamiento conlleva unos 7 minutos.

Analizando el mapa de actividades sanitarias, en algunas de ellas existe una dispersión o variación clara, mientras que en otros es despreciable. En los procesos que dependen del uso de tecnología (administración, triaje, radiología, etc), o muy protocolizados (realización de pruebas complementarias), la duración tiene una variabilidad reducida, salvo problemas o incidencias técnicas. No ocurre así en los procesos de intervención del personal médico, en los que la duración dependerá del proceso de recogida de información, así como su interpretación posterior.

Teniendo en cuenta lo anterior, y con el apoyo de los profesionales que participan en dichos procesos, los mínimos y máximos identificados para cada caso son:

- Fase de admisión: dada su duración, y las características del proceso, no se ha considerado variabilidad. Por tanto se considera un tiempo constante de 3 minutos.
- Fase de triaje: se ha considerado un valor mínimo de 5 minutos, y uno máximo de 7 minutos.
- Fase de interrogatorio: en este supuesto se da una variabilidad mayor. Se ha identificado un valor mínimo de 15 minutos y uno máximo de 25.
- Radiología: al igual que en admisión, dada su duración y las características del proceso no se ha considerado variabilidad. Por tanto se considera un tiempo constante de 8 minutos.



- La realización de pruebas complementarias por parte de la enfermera asistencial depende algo más de la intervención humana, por lo que se ha establecido un mínimo de 7 minutos y uno máximo de 9.
  - Análisis de los resultados de las pruebas y diagnóstico: Se ha identificado un valor mínimo de 4 minutos y uno máximo de 10.
  - Análisis de la evolución del tratamiento y diagnóstico final: se ha identificado un valor mínimo de 4 minutos y uno máximo de 10.
- Nivel de precisión que se quiera conseguir: para obtener una precisión mayor será necesario que el intervalo de discretización del rango entre los valores extremos sea menor. Es necesario que el nivel de precisión sea mayor en aquellos procesos que sean considerados como críticos, debido a la mayor sensibilidad de los resultados del SUH ante cambios de valor la duración de dichos procesos. A través de las experimentaciones realizadas en el proceso de verificación se concluyó que esto ocurría en los tiempos de los procesos en los que intervienen los médicos. No obstante, se debe tener en cuenta que el número de ejecuciones a realizar será mayor cuanto mayor sea el nivel de precisión.

Para el caso particular del servicio de urgencias del Hospital de Sabadell se ha optado por variaciones de 1 minuto. Así para el ejemplo concreto del proceso de interrogatorio llevada a cabo por los médicos, dado que el mínimo es de 15 minutos, el máximo es de 25, y el intervalo de discretización es de 1 minuto, aplicando las ecuaciones 1 y 2, los valores a considerar se presentan en la tabla 8:

Tabla 8. Conjunto de de valores posibles del proceso de interrogatorio que llevan a cabo los médicos.

TICs	250	267	283	300	317	333	350	367	383	400	417
Tiempo	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25

Como se puede observar dicha tupla incluye 11 valores posibles. El número total de simulaciones a realizar en este modelo de simulación paramétrica exhaustiva dependerá de los valores posibles de cada uno de las fases consideradas. En el caso concreto que estamos analizando se calculará mediante la ecuación 3:

$$N^{\circ} \text{ de Simulaciones} = T_{\text{Adm}} \times T_{\text{E-tr}} \times T_{\text{M-Int}} \times T_{\text{M-Exp}} \times T_{\text{M-Trat}} \times T_{\text{E-As}} \times T_{\text{RX}} \quad (\text{Ec } 3)$$

siendo  $T_i$  el conjunto de valores en los que ha discretizado el rango de variación correspondientes al proceso "i", y el detalle de las fases posibles:

- Adm : proceso de admisión
- E-tr: proceso de triaje
- M-Int: proceso de interrogatorio realizado por el médico
- M-Exp: proceso de análisis de resultados de exploraciones complementarias realizado por el médico
- M-Trat: proceso de diagnóstico final (post tratamiento) realizado por el médico
- E-As: proceso de realización de exploraciones complementarias realizado por la enfermera asistencial.
- RX: proceso de realización de pruebas radiológicas.

#### **4.1.1.1. Ejecución de la simulación paramétrica en Netlogo**

Netlogo incorpora una funcionalidad que permite la realización de la simulación paramétrica de manera relativamente sencilla. Se trata de la herramienta "anализador de comportamiento" (Behaviour Space), disponible en la opción del menú horizontal HERRAMIENTAS. A través de la misma se puede definir los parámetros que cambian de valor y su rango de variación. La estructura de la instrucción es:

["nombre de la variable cuyo valor cambia" [Mínimo Unidad de Variación  
Máximo]]

Así para el caso concreto de la enfermera de triaje, cuyo valor mínimo era de 5 minutos, el máximo de 7, y la unidad de variación era de 1 minuto, expresado en TICs<sup>11</sup> (la unidad de medida de tiempo utilizada por Netlogo), la instrucción será:

["tiempo-triage" [83 17 117]]

Habría que añadir en la instrucción la información relativa al resto de tiempos. En el punto de "experimentación de validación de la metodología de sintonización" se presenta la instrucción completa para la experimentación llevada a cabo.

#### 4.1.1.2. Índice de Similitud

La selección de la configuración de mejor ajuste se llevará a cabo a partir del índice de similitud entre los datos de salida del Sistema Real y cada los de cada una de las configuraciones simuladas. Dicho índice expresa la diferencia entre los distintos datos de salida de la actividad del servicio de urgencias (cantidades de pacientes atendidos, tiempo medio de permanencia de pacientes en el SUH, desviación estándar del tiempo medio de permanencia). Teniendo en cuenta las características de los datos de salida, se propone que el índice se calcule como:

$$\text{Índice de Similitud} = \sum_j [ | Q_j^R - Q_j^S | / Q_j^R ] + [ | T_j^R - T_j^S | / T_j^R ] + [ | DE_j^R - DE_j^S | / DE_j^R ] \quad (\text{Ec 4})$$

Expresión en la que:

- el superíndice indica si corresponde al Sistema Real (R) o la Ejecución de la Simulación (S) que estamos comparando con el sistema real,
- $Q_j$  indica la cantidad de pacientes de tipo "j" que completan el proceso (aquellos que habiendo llegado al SUH, salen del servicio después de haber completado el proceso),

---

<sup>11</sup> 1 minuto equivale a 16,67 TICs

- $T_j$  es el tiempo medio de atención de los pacientes de tipo “j”, calculado como media aritmética de los pacientes de tipo “j” que han completado el proceso durante la ejecución.
- $DE_j$  es la Desviación Estándar Muestral del tiempo de atención de los pacientes de tipo “j”, calculado sobre los tiempos totales de atención de los pacientes de tipo “j” que han completado el proceso durante la ejecución.
- “j” corresponde a la tipología de pacientes según su nivel de prioridad

En resumen el índice considera diferencias en “cantidades de pacientes atendidos”, “tiempos medios de atención” y su dispersión, teniendo en cuenta los valores de los diferentes tipos de pacientes. **Las diferencias se calculan en valor absoluto**, y además **se normalizan** para así poder homogeneizar los diferentes datos. Para ello se **divide el valor absoluto de la diferencia por el valor de cada elemento en Sistema Real**, de esta forma se garantiza que el valor del denominador siempre permanece constante en la “n” simulaciones, pues los valores correspondientes al  $S_r$  siempre son los mismos. El valor del índice será menor cuanto mayor sea la similaridad entre el Sistema Real y la Simulación.

*Una vez identificada la configuración que mejor ajusta (aquella cuyo valor del índice de similaridad es menor), se hará una comparación entre las salidas del Sistema Real y las de la Simulación. Para ello se procederá a:*

- Realizar un análisis y comparación visual de la distribución de salida de pacientes (total, y para cada nivel de prioridad o urgencia).
- Realizar la prueba de los “Signos de Wilconxon” (Wilconxon Signed-Rank Test) [61]. Se trata de un test estadístico que permite determinar si los valores de 2 series de datos,  $X_i$  e  $Y_i$ , son o no iguales, es decir, el grado de diferencia entre 2 series de datos. Se trata de un método alternativo al Test T-student cuando no se puede asumir que las series de datos siguen una distribución normal. El objetivo es verificar si se puede o no rechazar la Hipótesis Nula, es decir, si se

puede o no rechazar que “la diferencia entre los pares de las series de datos es cero”. En el caso particular de la versión del simulador que se ha implementado se compararán las series de datos de salida de pacientes a lo largo de las 24 horas del día, considerando la totalidad de pacientes, y repitiendo la comparación para cada tipo de pacientes.

#### 4.1.1.3. Extensión anual de la experimentación

Analizando los datos de llegada de pacientes facilitados por el SU del Hospital de Sabadell se observa como a lo largo de los 12 meses del año cambian tanto la llegada de pacientes (cantidad de pacientes que llegan a lo largo de las 24 horas del día), como la distribución de tipologías de pacientes atendidos. Siendo variables que pueden influir sobre los resultados del proceso de ajuste de parámetros se considera necesario repetir la simulación paramétrica para cada uno de los 12 meses del año, tomando en cada una de las repeticiones los datos correspondientes al mes en cuestión.

Una vez realizadas las ejecuciones, para cada configuración se procederá a calcular los valores medios de cada una de las variables que se utilizan en el cálculo del índice. Así el índice se calculará aplicando la ecuación 5

$$\text{Índice de Similaridad} = \sum_j \left[ \frac{|Q Media_j^R - Q Media_j^S|}{Q Media_j^R} \right] + \left[ \frac{|T Medio_j^R - T Medio_j^S|}{T Medio_j^R} \right] + \left[ \frac{|DE Media_j^R - DE Media_j^S|}{DE Media_j^R} \right] \quad (\text{Ec 5})$$

Antes del cálculo del índice se procederá a calcular el valor medio de cada una de las variables a partir de los valores obtenidos para cada uno de los 12 meses del año. Identificada la *configuración que mejor ajusta, se llevará a cabo la comparación de la distribución de salida de pacientes “media”* (comparación visual y cálculo de la prueba de los “Signos de Wilconxon”).

#### 4.1.2. Evaluación de la capacidad predictiva

La utilización del simulador como elemento predictivo en el DSS es necesario completar el proceso de sintonización realizando la etapa de validación de capacidad

predictiva. El objetivo de esta etapa es verificar que los valores de los parámetros identificados en la fase de ajuste permiten que el simulador se comporte como el sistema real en escenarios diferentes a los tenidos en cuenta en la etapa anterior, y en consecuencia, que pueda ser utilizado para predecir el comportamiento del sistema real.

Se necesita disponer de información del Sistema Real correspondiente a otro periodo de tiempo. En concreto se necesitará la siguiente información:

- **Variables de configuración del SUH:**
  - a. Cantidad y nivel de experiencia de cada uno de los miembros del staff del servicio de urgencias (personal de admisión; enfermeras de triaje; médicos; enfermeras asistenciales; y técnicos de radiología)
  - b. Cantidad de recursos técnicos (mostradores de atención en la zona de admisión; boxes de triaje; salas de atención de médicos; salas de atención de enfermeras; y salas de radiología)
  
- **Datos de entrada o inputs:**
  - a. Cantidad de pacientes que han llegado al servicio durante las 24 horas del día, que es el periodo de tiempo simulado.
  - b. Distribución porcentual de pacientes por niveles de prioridad o urgencia.
  - c. La proporción de pacientes que han pasado por la fase de exploraciones complementarias, y la proporción que han recibido un tratamiento.
  
- **Datos de salida (outputs):**
  - a. La cantidad de pacientes tratados durante el periodo de tiempo considerado, así como su nivel de prioridad.
  - b. El tiempo total de permanencia en el SUH de cada uno de dichos pacientes.
  - c. La cantidad (y nivel de prioridad) de pacientes que salen del SUH en cada una de las horas del periodo de tiempo considerado.

En primer lugar debe ser introducida en el simulador la información relativa a las variables de configuración: a) la información relativa a cantidad y tipología de profesionales del SUH; b) la distribución de pacientes atendidos por tipología; c) y la información relativa a la llegada de pacientes.

A través del código de Netlogo se introducirán los tiempos de la configuración de mejor ajuste identificados en la etapa de ajuste de parámetros. Y hecho esto se ejecutará la simulación para obtener los datos de salida del simulador que deben ser comparados con los del Sistema Real. Aplicando el mismo criterio que en la etapa anterior, se considera necesario repetir el proceso para cada uno de los 12 meses del año, tomando en cada una de las repeticiones los datos correspondientes al mes en cuestión (tanto para el Sistema Real como para la Simulación).

La capacidad predictiva de la simulación será evaluada a través de:

- El índice de similaridad entre sistema real y la simulación. Tal y como se hizo en la etapa anterior el índice se calculará aplicando la ecuación 5:

$$\text{Índice de Similaridad} = \sum_j \left[ \frac{|Q Media_j^R - Q Media_j^S|}{Q Media_j^R} \right] + \left[ \frac{|T Medio_j^R - T Medio_j^S|}{T Medio_j^R} \right] + \left[ \frac{|DE Media_j^R - DE Media_j^S|}{DE Media_j^R} \right] \quad (\text{Ec 5})$$

en la que se utiliza el valor medio de cada una de las variables a partir de los valores obtenidos para cada uno de los 12 meses del año. El valor del índice de la configuración se podrá comparar con el obtenido en la fase de ajuste de parámetros.

- *La comparación de la distribución de salida de pacientes “media” se hará en primer lugar visualmente, y a continuación de forma cuantitativa mediante la prueba de los “Signos de Wilconxon”.*

Si los resultados obtenidos permiten concluir que el simulador efectivamente se comporta como el Sistema Real, entonces se podrá ser utilizado como herramienta de ayuda a la toma de decisiones por los responsables del SU con el que se la realizado el proceso de sintonización. Para poder ser utilizado en un SUH diferente será necesario repetir todo el proceso de sintonización.

# Validación experimental de la metodología de sintonización

### *Resumen*

Para validar la metodología de sintonización descrita en la sección anterior se ha llevado a cabo una experimentación utilizando para ello información correspondiente al Servicio de Urgencias del Hospital de Sabadell (Corporació Sanitària del Parc Taulí). Dadas las características específicas del modelo, a través del proceso de sintonización también se lleva a cabo la validación cuantitativa de modelo y simulación. En la primera parte de este capítulo se presentan las características de la misma y los resultados obtenidos. En la segunda y última parte se presentan los resultados de una aplicación concreta de la simulación como sistema de ayuda a la toma de decisiones. La simulación se usa para evaluar de los efectos de políticas alternativas de derivación a unidades ambulatorias y centros de atención primaria de aquellos pacientes que acueden al SUH sin requerir de una atención urgente.



El proceso de sintonización llevado a cabo se basa en la extensión anual descrita en el punto 4.1.1. del capítulo anterior (se ajusta a un modelo anual, promediando temporal y espacialmente), aplicada sobre información facilitada por el Servicio de Urgencias del Hospital de Sabadell (Corporación Sanitaria del Parc Taulí). En la fase de ajuste de parámetros se han considerado datos correspondientes a los 12 meses del ejercicio 2.011, mientras que el conjunto de datos utilizados en la fase de evaluación de la capacidad predictiva corresponde a los 12 meses del ejercicio 2.012. En ambos casos se ha considerado la misma configuración del equipo de profesionales del SUH.

## 5.1. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIMENTACIÓN REALIZADA

Se han utilizado datos de llegada de pacientes (cantidad y tipos) durante las 24 horas del día, calculado como media de las llegadas recibidas durante cada uno de los 12 meses del año 2.011. La tabla 9 muestra los promedios de pacientes llegados cada una de las 24 horas del día de esos 12 meses:

Tabla 9. Promedio de pacientes llegados al SU del Hospital de Sabadell (Corporación Sanitaria del Parc Taulí) cada una de las 24 horas del día de los 12 meses del año 2.011

	Hora del día																								Total
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Enero	9	8	6	5	5	5	6	7	11	20	25	27	24	21	20	23	25	22	21	22	20	17	15	12	375
Febrero	8	7	5	5	4	5	5	7	11	22	26	29	26	21	20	25	22	24	24	26	23	20	16	12	395
Marzo	8	7	6	5	5	5	6	7	13	24	30	29	26	22	21	26	24	25	26	27	24	21	17	12	416
Abril	11	6	6	5	5	5	5	7	12	24	29	32	27	22	20	26	28	24	24	25	25	23	18	12	422
Mayo	10	7	6	4	5	5	6	8	14	23	29	29	26	21	22	24	26	23	25	26	26	25	19	13	422
Junio	10	7	6	5	5	5	5	7	13	21	29	27	24	20	19	23	23	22	22	25	26	22	19	14	400
Julio	12	8	7	5	6	4	6	8	12	21	24	25	22	20	18	21	24	22	23	25	23	22	20	15	393
Agosto	9	7	6	4	4	4	5	6	12	16	23	25	23	18	17	21	23	19	20	22	18	18	18	12	350
Septiembre	11	7	6	5	5	5	7	7	12	22	28	28	25	21	19	26	25	24	24	25	25	22	15	13	406
Octubre	10	8	6	5	5	5	6	7	12	22	28	31	26	22	20	27	28	23	27	25	24	21	17	13	416
Noviembre	10	7	6	6	5	5	5	7	12	26	31	30	27	22	21	26	25	25	24	25	23	20	15	12	413
Diciembre	11	7	7	5	6	6	6	9	12	24	31	34	32	25	22	28	29	26	27	27	23	23	19	15	455

En relación a los tipos de pacientes (nivel de prioridad 1 a 5) el resumen de la información facilitada queda recogido en la tabla 10:

Tabla 10. Distribución de llegada de pacientes (por nivel de prioridad), expresada en porcentaje, del SU del Hospital de Sabadell (Corporació Sanitaria del Parc Taulí) cada uno de los 12 meses del año 2.011

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tipo de pacientes	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
	2	3	3	3	2	2	2	7	6	6	5	5	5
	3	20	21	20	20	21	19	24	24	23	20	18	21
	4	26	27	27	24	25	26	37	39	40	42	43	43
	5	50	48	49	53	51	52	31	31	31	32	33	30
		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Según la información facilitada el 100% de los pacientes pasan por la fase de interrogatorio, del total el 80% requiere de Exploraciones complementarias, y sólo el 20% necesita que se le aplique un tratamiento. Estos porcentajes son comunes para pacientes de tipo 4 y 5.

### 5.1.1. Cantidad y tipología de recursos humanos

En relación a este punto, la información facilitada por el Hospital de Sabadell se

resume en:

- Zona de Admisión: se dispone de 3 mostradores, si bien habitualmente se utilizan 2, en los que intervienen 2 administrativos con un nivel de experiencia alto.
- Zona de Triage: se dispone de 3 salas o boxes de triaje, si bien habitualmente se hace uso de 2 de ellos en los que intervienen 2 enfermeras que tienen un nivel de experiencia medio<sup>12</sup>.
- Nivel 1 de la Zona de Diagnóstico-tratamiento:
  - En este nivel interviene una enfermera asistencial que aporta un nivel de experiencia alto.
  - Radiología: se dispone de 2 laboratorios de radiología que son compartidos por los niveles 1 y 2 de la zona de diagnóstico-tratamiento<sup>13</sup>. Al no disponer de información se ha considerado que 1 de ellos se dedicaba a atender

<sup>12</sup> El nivel medio y bajo de experiencia equivale al perfil Junior del modelo computacional, y el nivel alto al perfil Senior

<sup>13</sup> Tal y como se describe en el capítulo 3, en el nivel 1 se atienden a los pacientes de tipo 4 y 5, y en el nivel 2 los pacientes de tipo 1, 2 y 3.

pacientes del nivel 1. El perfil de los técnicos que intervienen es de experiencia media.

- Se dispone de 4 salas de atención, aunque habitualmente sólo se hace uso de 3 de ellas (la 4ª se tiene para oxigenar momentos de gran carga de trabajo). En ella intervienen 3 médicos con un nivel de experiencia medio o bajo (los médicos de mayor experiencia intervienen en el nivel 2).

## 5.2. FASE DE AJUSTE DE PARÁMETROS

A partir de la información facilitada por el Hospital de Sabadell (Corporación Sanitaria del Parc Taulí) se han calculado los datos de salida necesarios para poder realizar el proceso de sintonización. Dado que la versión del simulador sólo contempla el nivel 1, sólo se han incluido datos relativos a pacientes de tipo 4 y 5. La tabla 11 resume los datos relativos a los pacientes atendidos en el nivel 1 (pacientes de tipo 4 y 5). En particular informa de los pacientes que abandonan el SUH a lo largo de las 24 horas del día, después de haber completado el proceso de atención. En la tabla 12 se presentan los valores medios relativos a la cantidad de pacientes atendidos, los tiempos medios de atención, y la desviación estándar muestral de dichos tiempos, para pacientes de tipo 4 y 5. La información relativa a tiempos se expresa tanto en TICs como su equivalente en horas calculado aplicando la ecuación 1.

El detalle de valores mínimos y máximos y la unidad de variación a tener en cuenta para cada uno de los tiempos a ajustar es el siguiente:

- Proceso de admisión: sólo tienen un perfil senior (nivel de experiencia alto), y dadas las características del proceso (requiere de poco tiempo para su ejecución, el proceso está muy protocolizado, y se asiste del sistema informático), no se considera variación alguna. El valor medio de atención informado tanto por los responsables del servicio como por el personal administrativo que lleva a cabo el proceso es de un promedio de 3 minutos (50 TICs).

Tabla 11. Promedio de pacientes 4 y 5 atendidos a lo largo de las 24 horas del día, para los 12 meses del año.

	Total												Prom
	En	Feb	Mar	Ab	May	Jn	Jl	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic	
0	8	5	5	5	5	8	3	7	6	5	7	6	6
1	5	6	9	8	9	7	4	7	9	7	7	7	7
2	5	6	5	6	6	7	10	4	6	5	6	7	6
3	5	3	7	9	6	6	4	2	2	4	8	6	5
4	7	7	5	3	5	6	9	6	1	6	7	4	6
5	3	5	4	5	3	9	2	1	6	3	7	4	4
6	3	1	5	3	2	3	5	5	4	2	2	5	3
7	4	6	5	5	5	5	3	3	5	3	3	6	4
8	7	7	4	4	4	3	7	5	4	7	5	5	5
9	6	5	7	6	8	7	5	5	7	5	9	4	6
10	5	8	6	7	9	6	8	6	4	9	5	7	7
11	7	6	8	7	5	10	6	7	8	4	9	9	7
12	6	8	6	5	7	6	7	8	4	9	6	8	7
13	10	8	6	6	6	9	6	6	8	4	6	5	7
14	3	6	8	9	7	8	8	6	7	10	6	7	7
15	9	7	8	7	8	4	4	6	9	5	9	8	7
16	8	6	5	8	6	8	8	8	6	6	8	6	7
17	7	8	8	6	7	7	7	8	7	8	6	6	7
18	8	7	7	7	7	7	6	7	6	9	8	7	7
19	6	8	5	4	4	7	9	7	7	6	8	7	7
20	11	3	9	7	9	8	7	6	7	8	7	7	7
21	6	9	6	8	8	6	7	6	7	8	6	8	7
22	6	8	6	8	5	6	7	8	8	5	8	6	7
23	6	5	7	7	7	10	6	5	7	7	6	7	7
	151	148	151	150	148	163	148	139	145	145	159	152	150

Tabla 12. Información correspondiente al sistema real relativa a la cantidad media de pacientes atendidos, tiempos medios de atención, y desviación estándar de los tiempos de atención

		[TICs (horas)]	[TICs (horas)]
Pacientes tipo 5	82	3.909 (3,83 h)	2.982 (2,92 h)
Pacientes tipo 4	68	3.971 (3,89 h)	2.939 (2,88 h)

- Prueba radiológica: dado que los profesionales que lo desarrollan tienen un nivel de experiencia medio/bajo, se ha considerado un perfil junior. Dadas las características del proceso (el proceso está muy protocolizado y se lleva a cabo haciendo uso de tecnología), no se considera variación alguna. El valor medio de realización informado por los responsables del servicio es de un promedio de 8 minutos (133 TICs).
- Proceso de Triage: dado que las enfermeras que lo llevan a cabo tienen un nivel de experiencia medio/bajo, se ha considerado un perfil junior. Dadas las características del proceso (el proceso está muy protocolizado y se asiste del sistema informático), se considera un rango de variación pequeño: valor mínimo de 5 minutos, valor máximo de 7 minutos, y unidad de variación

(intervalo de discretización) de 1 minuto. El conjunto de valores a considerar será:

TICs	83	100	117
Tiempo	5	6	7

- Exploración complementaria realizada por enfermera asistencial: sólo tienen un perfil senior (nivel de experiencia alto), y dadas las características del proceso (el proceso está muy protocolizado) se considera un rango de variación pequeño: valor mínimo de 8 minutos, valor máximo de 10 minutos, y unidad de variación (intervalo de discretización) de 1 minuto. El conjunto de valores a considerar será:

TICs	133	151	167
Tiempo	8	9	10

- Procesos realizados por médicos: dado que tienen un nivel de experiencia medio/bajo, se ha considerado un perfil junior. Por los motivos justificados en el capítulo 4, se ha optado por un nivel mayor de precisión, y un rango de variación mayor que en los procesos anteriores. El análisis y decisiones tomadas para cada uno de los 3 procesos es el siguiente:

#### Tiempo Interrogatorio (Tint)

Se considera un valor mínimo de 15 minutos, un valor máximo de 25 minutos, y una unidad de variación (intervalo de discretización) de 1 minuto. El conjunto de valores a considerar será en total 11 valores posibles:

TICs	250	267	284	301	318	335	352	369	386	403	420
Tiempo	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25

#### Tiempo Exploraciones (Texp)

Se considera un valor mínimo de 4 minutos, un valor máximo de 10 minutos, y una unidad de variación d(intervalo de discretización) de 1 minuto. El conjunto de valores a considerar será en total de 7 valores posibles:

TICs	67	84	101	118	135	152	169
Tiempo	4	5	6	7	8	9	10

### Tiempo Tratamiento (Ttr)

Se considera un valor mínimo de 4 minutos, un valor máximo de 10 minutos, y una unidad de variación (intervalo de discretización) de 1 minuto. El conjunto de valores a considerar será en total de 7 valores posibles:

TICs	67	84	101	118	135	152	169
Tiempo	4	5	6	7	8	9	10

Teniendo en cuenta todo lo anterior, y aplicando la ecuación 3, el número total de configuraciones y en consecuencia de ejecuciones a realizar es:

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ \text{ Total de Simulaciones} &= T_{\text{Adm}} \times T_{\text{E-tr}} \times T_{\text{M-Int}} \times T_{\text{M-Exp}} \times T_{\text{M-Trat}} \times T_{\text{E-As}} \times T_{\text{RX}} = \\ &= (1 \times 3 \times 11 \times 7 \times 7 \times 3 \times 1) = 4.851 \end{aligned}$$

Como la simulación paramétrica planteada va a ser exhaustiva, en cada simulación tan solo se modificará el valor de un único parámetro. En cada una de ellas se modificará el valor del tiempo de “uno” de los miembros del Staff del SUH, manteniendo constante el resto. Pero dado que las ejecuciones se repetirán 12 veces (una para cada uno de los meses del año), el total ejecuciones es de 58.212. Teniendo en cuenta la gran cantidad, y el tiempo requerido para completar una ejecución (aproximadamente de 1 minuto 45 segundos), será indispensable usar Sistemas de Computación de Altas Prestaciones (HPC), y además se tendrá que paralelizar la ejecución de estas simulaciones independientes entre los diversos cores del sistema (Embarrassing Parallel Computing).

## **5.2.1. Ejecución de la simulación paramétrica y paralelización de ejecuciones con Netlogo**

A través de la herramienta “analyzer de comportamiento” de Netlogo se especificarán las características de la simulación paramétrica, y se paralelizarán las ejecuciones al objetivo de reducir el tiempo necesario para completar todas las ejecuciones.

Teniendo en cuenta lo comentado en el punto anterior, las especificaciones introducidas son:

```
["tiempo-triage" [83 17 117]]
["tiempo-test" [133 17 167]]
["tiempo-exploracion" [67 17 169]]
["tiempo-tratamiento" [67 17 169]]
["tiempo-interrogatorio" [250 17 420]]
["prob-V-ET" 80]
["NS_er" 1]
["NJ" 2]
["prob-V-H" 0]
["prob-IV-E" 80]
["AS" 2]
["DJ" 3]
["period" "day"]
["wsize" 29]
["prob-IV-ET" 20]
["times?" true]
["RX_J" 1]
["prob-V-E" 80]
```

Las simulaciones han sido realizadas en el cluster Dell con 18 nodos, un pool de 512 cores y 1.178 Gbytes de RAM. Debido a las características de la experimentación, para obtener los resultados en un tiempo razonable se han aplicado técnicas de paralelización. Las 4.851 configuraciones de cada uno de los escenarios de ejecución<sup>14</sup> han sido distribuidas entre 32 procesadores, manteniendo dicha distribución en los 12 escenarios para así facilitar la integración y tratamiento posterior de la información de salida de las configuraciones. El tiempo promedio utilizado para completar cada una de dichas simulaciones ha sido de 1 minuto 48 segundos (moviéndose los tiempos de

---

<sup>14</sup> Un escenario de ejecución corresponde al total de 4.851 configuraciones que deben ser simuladas considerando los Datos de Entrada de 1 mes. Por tanto la experimentación contempla un total de 12 escenarios, uno para cada uno de los 12 meses del año.

ejecución entre un valor mínimo de 1 minuto 37 segundos y un máximo de 2 minutos y 4 segundos), y el tiempo total utilizado para completar todas las simulaciones, gracias a la paralelización, ha sido de 54 horas y 34 minutos<sup>15</sup>.

## 5.2.2. Resumen de los datos obtenidos

Tal y como se ha especificado en la metodología de sintonización, el índice de similaridad se calcula para cada una de las 4.851 configuraciones, considerando los valores medios<sup>16</sup> de cada una de las variables que se utilizan en el índice. La tabla 13 muestra un extracto de la tabla de datos (las 44 configuraciones con un valor menor del índice de similaridad). La tabla contiene en columnas información relativa a las variables que definen cada una de las configuraciones, y en filas los valores y resultados correspondientes a cada una de las 4.851 configuraciones. El detalle de información para cada configuración es el siguiente:

- Cada configuración es identificada a través de las 2 primeras columnas. La primera, "Carpeta", permite identificar el CORE en se ha realizado la ejecución, y la columna "Iteración" identifica la simulación específica obtenida en ese core concreto.
- Los valores de los tiempos de cada proceso de la configuración son mostrados en las columnas "Dint" (médico-interrogatorio), "Dexp"(médico-exploración), "Dtrat" (médico-tratamiento), "Etr" (proceso de Triage), "Eas" (Enfermera asistencial-exploración), "Rx" (prueba radiológica) y "Adm" (proceso de admisión). Los valores de tiempo están expresados en TICs.
- Los valores necesarios para el cálculo del índice (ecuación 5) se muestran en las columnas "Qp5", "Tp5", "DETp5", "Qp4", "Tp4" y "DETp4". En concreto las columnas "Qpj" informan del número de pacientes atendidos (j=5 para pacientes de tipo 5 y j=4 para pacientes de tipo 5), "Tpj" el tiempo medio de atención o permanencia en el servicio de urgencias y "DETpj" la desviación estándar mostrar del tiempo de atención.

---

<sup>15</sup> El tiempo total de cómputo empleado podría evaluarse como: a) T medio de una simulación = 1 minuto 48 segundos (108 segundos); b) T total de cómputo = 108 segundos/sim. x 58.212 sim. = 62,868.965 segundos (1.746,36 horas); c) Elapsed Time: 1.746,26 h./32 cores = 54,57 horas

<sup>16</sup> Calculado como media de los valores obtenidos en cada uno de los 12 escenarios (12 meses).



- La última columna corresponde al valor del índice.

En la columna los registros aparecen ordenados de menor a mayor valor del índice, para así facilitar su interpretación. El valor del índice se mueve en un rango que va desde un valor mínimo de 0,034 y un máximo de 1,97285. El índice de valor mínimo corresponde a la configuración 21-244, con unos valores de tiempos:

Dint: 301 / Dexp: 118/ Dtrat: 67 / Etr: 117 / Eas: 150 / Rx: 133 / Adm: 50

Y los valores de salida medios:

Qp5: 84 / Tp5: 3893 / DETp5: 2975

Qp4: 68 / Tp4: 3968 / DETp4: 2926

La siguiente configuración que mejor ajusta es la 26-74, con unos valores de tiempos:

Dint: 352 / Dexp: 67/ Dtrat: 67 / Etr: 117 / Eas: 167 / Rx: 133 / Adm: 50

Y los valores de salida medios:

Qp5: 82 / Tp5: 3970 / DETp5: 2981

Qp4: 68 / Tp4: 4032 / DETp4: 2907

El valor del índice de esta configuración es de 0,048, lo que representa una diferencia de 0,014 puntos en relación a la configuración de mejor ajuste, esto es un aumento del 41,15%. A partir de la 3ª y siguientes configuraciones los aumentos son mucho menores en porcentaje, moviéndose en un rango que va de un valor máximo de 6,10% y uno mínimo del 0,1%. La figura 21 muestra las diferencias porcentuales<sup>17</sup> de las 300 configuraciones de mejor ajuste (orden ascendente). Tal y como se puede observar entre la configuración de mejor ajuste y la siguiente se produce un empeoramiento que porcentualmente es significativo, pero a partir de las siguientes las diferencias expresadas en porcentaje son significativamente menores.

---

<sup>17</sup> La diferencia porcentual se calcula a partir del valor del índice de similaridad de una simulación (configuración) concreta, y el de la configuración anterior. Se expresa en porcentaje sobre el valor del índice de similaridad de la anterior.

Tabla 13. Extracto de la tabla resumen (44 configuraciones con menor índice de similaridad) de los datos de salida del sistema real y el promedio para las 4.851 configuraciones.

Carpeta	Iteración	Dint	Dexp	Dtrat	Etr	Eas	Rx	Adm	Qp5	Tp5	DETp5	Qp4	Tp4	DETp4	Índice
SR	SR	333	83	83	100	167	133	50	82	3909	2982	68	3971	2939	0
21	244	301	118	67	117	150	133	50	84	3893	2975	68	3968	2926	0,03436885
26	74	352	67	67	117	167	133	50	82	3970	2981	68	4032	2907	0,04851122
5	62	267	169	67	83	133	133	50	82	3899	3017	66	3981	3023	0,06854266
21	202	267	152	67	117	133	133	50	84	3947	2968	68	3914	2987	0,07070072
2	49	335	101	67	83	133	133	50	80	3984	2994	69	3912	2938	0,07501428
13	23	284	135	67	83	167	133	50	84	3990	2964	67	3918	2961	0,07554563
5	5	318	118	67	83	133	133	50	81	3973	2961	67	4044	2961	0,07568742
17	45	318	101	67	100	133	133	50	83	3841	2954	69	3999	2989	0,07573493
17	225	318	101	67	117	150	133	50	85	3873	2927	68	3943	2922	0,07743124
9	45	318	101	67	83	167	133	50	83	3845	2957	67	4023	3013	0,07807894
5	4	301	118	67	83	133	133	50	85	3904	2918	68	3958	2896	0,08077568
5	142	267	169	67	83	150	133	50	83	3945	2875	68	3989	2864	0,08229612
21	184	301	135	67	117	133	133	50	81	3935	2860	69	3973	2929	0,08399655
29	85	318	118	67	117	167	133	50	82	4086	2954	68	4021	2945	0,08574793
21	164	301	118	67	117	133	133	50	82	3964	2907	69	3921	2981	0,08684558
18	146	352	67	67	117	133	133	50	81	3942	3013	68	3810	2904	0,08804016
21	203	284	152	67	117	133	133	50	82	3887	2926	67	4069	3026	0,08893263
29	62	267	169	67	100	167	133	50	82	3887	2934	67	4065	3013	0,08906761
2	3	369	67	67	83	133	133	50	81	3878	2963	68	4146	2966	0,08913206
29	61	250	169	67	100	167	133	50	83	3849	2964	70	3924	2946	0,09053467
21	23	284	135	67	100	133	133	50	83	3918	2942	69	3820	2903	0,09073751
21	104	301	135	67	100	150	133	50	82	3956	2955	69	3936	2840	0,09087158
13	5	318	118	67	83	167	133	50	83	3957	2898	67	4017	2985	0,09242927
21	282	267	152	67	117	150	133	50	82	3856	2892	70	3965	2912	0,09254073
21	263	284	135	67	117	150	133	50	84	3906	2862	67	3926	2922	0,09313192
29	42	267	152	67	100	167	133	50	84	3981	2961	67	3898	2887	0,09341559
2	7	335	67	84	83	133	133	50	82	3818	2957	69	3868	2952	0,09505224
29	142	267	169	67	117	167	133	50	83	3931	2959	66	3992	3048	0,09623106
21	302	267	169	67	117	150	133	50	81	3951	2919	69	4019	2992	0,09853084
5	42	267	152	67	83	133	133	50	82	3754	3028	68	3950	3044	0,09902093
18	241	335	84	67	117	150	133	50	82	3771	2878	69	4014	2949	0,0991392
5	43	284	152	67	83	133	133	50	80	3974	3002	68	4036	3025	0,10112952
5	85	318	118	67	83	150	133	50	80	4018	2943	69	4016	2919	0,1016034
21	61	250	169	67	100	133	133	50	82	3863	2917	69	3773	2929	0,1021916
21	165	318	118	67	117	133	133	50	83	4049	2986	65	3893	2956	0,10305159

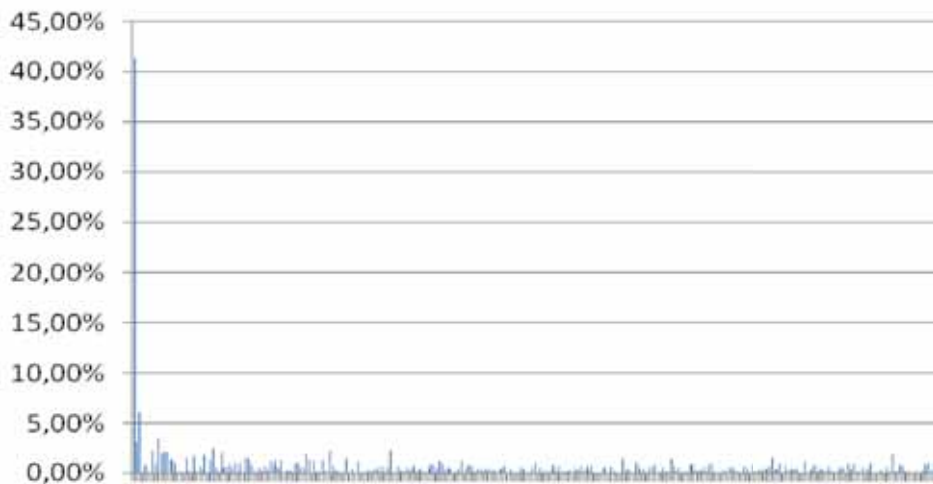


Figura 21. Diferencias en porcentaje entre los índices de similitud de las 300 configuraciones de mejor ajuste

### 5.2.3. Comparación de la configuración seleccionada con el Sistema Real

Una vez identificada la configuración de mejor ajuste, siguiendo las indicaciones facilitadas en la sección de metodología, se procede a comparar los datos de salida correspondientes a dicha configuración con los del sistema real. En las tablas 14, 15 y 16 se presentan los datos de pacientes atendidos a lo largo de las 24 horas de actividad correspondientes al total pacientes, pacientes de tipo 4 y de tipo 5 respectivamente.

Tabla 14. Promedio de pacientes atendidos a lo largo de las 24 horas del día, para los 12 meses del año.

	Total												Prom
	En	Feb	Mar	Ab	May	Jn	Jl	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic	
0	8	5	5	5	5	8	3	7	6	5	7	6	6
1	5	6	9	8	9	7	4	7	9	7	7	7	7
2	5	6	5	6	6	7	10	4	6	5	6	7	6
3	5	3	7	9	6	6	4	2	2	4	8	6	5
4	7	7	5	3	5	6	9	6	1	6	7	4	6
5	3	5	4	5	3	9	2	1	6	3	7	4	4
6	3	1	5	3	2	3	5	5	4	2	2	5	3
7	4	6	5	5	5	5	3	3	5	3	3	6	4
8	7	7	4	4	4	3	7	5	4	7	5	5	5
9	6	5	7	6	8	7	5	5	7	5	9	4	6
10	5	8	6	7	9	6	8	6	4	9	5	7	7
11	7	6	8	7	5	10	6	7	8	4	9	9	7
12	6	8	6	5	7	6	7	8	4	9	6	8	7
13	10	8	6	6	6	9	6	6	8	4	6	5	7
14	3	6	8	9	7	8	8	6	7	10	6	7	7
15	9	7	8	7	8	4	4	6	9	5	9	8	7
16	8	6	5	8	6	8	8	8	6	6	8	6	7
17	7	8	8	6	7	7	7	8	7	8	6	6	7
18	8	7	7	7	7	7	6	7	6	9	8	7	7
19	6	8	5	4	4	7	9	7	7	6	8	7	7
20	11	3	9	7	9	8	7	6	7	8	7	7	7
21	6	9	6	8	8	6	7	6	7	8	6	8	7
22	6	8	6	8	5	6	7	8	8	5	8	6	7
23	6	5	7	7	7	10	6	5	7	7	6	7	7
	151	148	151	150	148	163	148	139	145	145	159	152	150

Tabla 15. Promedio de pacientes tipo 4 atendidos a lo largo de las 24 horas del día, para los 12 meses del año.

	P4													Prom
	En	Feb	Mar	Ab	May	Jn	Jl	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic		
0	3	2	2	0	1	3	1	4	4	1	7	3	3	
1	2	2	4	5	5	3	2	5	5	2	4	4	4	
2	2	1	2	2	2	3	5	3	2	3	3	6	3	
3	2	3	3	3	0	4	2	1	0	1	4	3	2	
4	0	3	3	0	1	3	3	2	0	4	3	4	2	
5	0	2	0	0	0	2	0	0	2	3	1	3	1	
6	2	0	0	0	1	0	3	3	2	2	1	3	1	
7	1	5	1	2	1	0	3	0	4	1	1	5	2	
8	4	1	2	2	2	1	4	4	1	3	2	2	2	
9	3	4	1	1	3	3	4	2	3	2	6	1	3	
10	3	2	3	4	4	2	4	4	2	7	2	5	4	
11	2	2	4	1	2	1	4	3	7	4	5	6	3	
12	3	2	3	1	4	3	3	6	1	5	4	4	3	
13	5	6	2	2	2	2	5	5	5	3	3	4	4	
14	1	2	2	3	1	3	5	1	3	5	6	3	3	
15	4	2	2	2	2	1	4	2	4	4	7	5	3	
16	1	1	2	0	4	3	4	5	4	2	3	5	3	
17	2	4	2	1	1	3	2	4	4	5	2	4	3	
18	2	3	3	4	4	2	3	3	1	6	3	4	3	
19	3	2	4	2	1	3	2	5	6	3	5	7	4	
20	1	1	3	5	3	3	4	5	3	4	3	3	3	
21	1	6	5	3	4	1	3	4	4	6	2	5	4	
22	1	2	3	3	1	1	5	3	2	1	3	4	2	
23	3	2	3	2	1	3	4	2	4	3	5	5	3	
	51	60	59	48	50	53	79	76	73	80	85	98	68	

Tabla 16. Promedio de pacientes tipo 5 atendidos a lo largo de las 24 horas del día, para los 12 meses del año.

	P5													Prom
	En	Feb	Mar	Ab	May	Jn	Jl	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic		
0	5	3	3	5	4	5	2	3	2	4	0	3	3	
1	3	4	5	3	4	4	2	2	4	5	3	3	4	
2	3	5	3	4	4	4	5	1	4	2	3	1	3	
3	3	0	4	6	6	2	2	1	2	3	4	3	3	
4	7	4	2	3	4	3	6	4	1	2	4	0	3	
5	3	3	4	5	3	7	2	1	4	0	6	1	3	
6	1	1	5	3	1	3	2	2	2	0	1	2	2	
7	3	1	4	3	4	5	0	3	1	2	2	1	2	
8	3	6	2	2	2	2	3	1	3	4	3	3	3	
9	3	1	6	5	5	4	1	3	4	3	3	3	3	
10	2	6	3	3	5	4	4	2	2	2	3	2	3	
11	5	4	4	6	3	9	2	4	1	0	4	3	4	
12	3	6	3	4	3	3	4	2	3	4	2	4	3	
13	5	2	4	4	4	7	1	1	3	1	3	1	3	
14	2	4	6	6	6	5	3	5	4	5	0	4	4	
15	5	5	6	5	6	3	0	4	5	1	2	3	4	
16	7	5	3	8	2	5	4	3	2	4	5	1	4	
17	5	4	6	5	6	4	5	4	3	3	4	2	4	
18	6	4	4	3	3	5	3	4	5	3	5	3	4	
19	3	6	1	2	3	4	7	2	1	3	3	0	3	
20	10	2	6	2	6	5	3	1	4	4	4	4	4	
21	5	3	1	5	4	5	4	2	3	2	4	3	3	
22	5	6	3	5	4	5	2	5	6	4	5	2	4	
23	3	3	4	5	6	7	2	3	3	4	1	2	4	
	100	88	92	102	98	110	69	63	72	65	74	54	82	

En primer lugar se muestran los resultados obtenidos visualmente. Las figuras muestran la salida de pacientes del sistema real y de la simulación a lo largo de las 24

horas de actividad. La figura 22 muestra la información correspondiente a la totalidad de pacientes, la 23 a los pacientes de tipo 4, y la 24 a los pacientes de tipo 5.

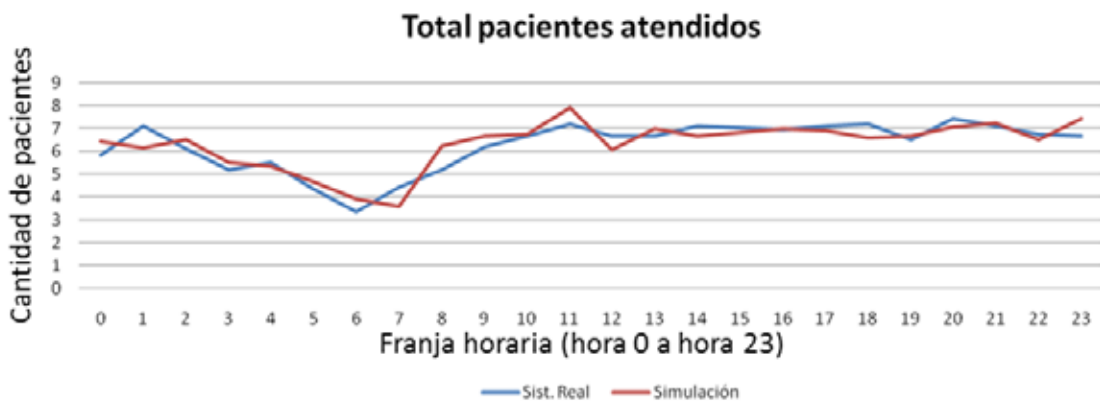


Figura 22. Salida total de pacientes (sistema real y simulación) a lo largo de las 24 horas del día.



Figura 23. Salida de pacientes tipo 4 (sistema real y de simulación) a lo largo de las 24 horas del día.



Figura 24. Salida de pacientes tipo 5 (sistema real y de simulación) a lo largo de las 24 horas del día.

Tal y como se puede apreciar en los gráficos, la salida de pacientes coincide de manera muy importante con la salida de pacientes del sistema real en la gráfica correspondiente a la totalidad de pacientes. En el caso de pacientes de tipo 4 y 5 el ajuste también es muy significativo importante si bien presentan mayores diferencias que en el caso de “total pacientes”.

Para obtener los resultados de una evaluación cuantitativa se realizará la prueba de los “Signos de Wilconxon” (Wilconxon Signed-Rank Test) [61]. El objetivo es verificar si se puede o no rechazar la Hipótesis Nula, es decir, si se puede o no rechazar que “la diferencia entre los pares de las series de datos es cero”. En nuestro caso se compararán las series de datos de salida de pacientes, en primer lugar considerando los pacientes totales, a continuación los pacientes de tipo 4 y finalmente los pacientes de tipo 5. El resumen de los datos obtenidos se presenta en la tabla 17.

Tabla 17. Resumen de la información relevante relativa a la prueba de los “Signos de Wilconxon”.

	P	P 4	P 5
Nr	23	23	23
W	46	14	23
$W_{0.05, 23}$			
$\sigma_w$	65,76	65,76	65,757
Z	0,692	0,205	0,3422

W se ha calculado para un tamaño de la muestra de 23 (pares de datos – 1), y un grado de confianza del 95%. Dado que Nr es mayor que 10, el valor de  $\sigma_w$  se calcula a partir del valor del tamaño de la muestra aplicando la ecuación 6.

$$\sigma_w = \text{sqrt} \left[ \frac{N(N+1)(2N+1)}{6} \right] \quad (\text{Ec } 6)$$

Y el valor Z debe ser calculado a partir de la ecuación 7

$$z = \frac{W - 0.5}{\sigma_w} \quad (\text{Ec } 7)$$

El valor de Z debe ser comparado con el valor de Zcrítico (obtenido de las tablas) [61], que para un grado de confianza del 95% es de 1,96. La Hipótesis Nula solo se puede rechazar en caso de que el valor de Z sea mayor que el de Zcrítico. Tal y como se puede observar en los 3 casos el valor de Z está por debajo de 1,96, y en consecuencia *NO se puede rechazar la hipótesis de que la diferencia entre los datos de salida de pacientes del Sistema Real y de la Simulación correspondiente a la configuración 21-244 puede ser nula*. Es decir, que los datos de salidas de pacientes son similares.

### 5.3. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD PREDICTIVA DE LA CONFIGURACIÓN DE MENOR ÍNDICE DE SIMILARIDAD (21-244)

Para llevar a cabo esta etapa del proceso de sitonización se ha utilizado información correspondiente al año 2.012. La tabla 18 muestra la llegada de pacientes correspondiente a los 12 meses del año).

Tabla 18. Promedio de pacientes llegados al SU cada una de las 24 horas del día de los 12 meses (utilizados en fase de evaluación de la capacidad predictiva)

	Hora del día																								Total
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Enero	12	8	7	5	6	4	6	8	12	21	24	25	22	20	18	21	24	22	23	25	23	22	20	15	393
Febrero	9	7	6	4	4	4	5	6	12	16	23	25	23	18	17	21	23	19	20	22	18	18	18	12	350
Marzo	11	7	6	5	5	5	7	7	12	22	28	28	25	21	19	26	25	24	24	25	25	22	15	13	406
Abril	10	8	6	5	5	5	6	7	12	22	28	31	26	22	20	27	28	23	27	25	24	21	17	13	416
Mayo	10	7	6	6	5	5	5	7	12	26	31	30	27	22	21	26	25	25	24	25	23	20	15	12	413
Junio	11	7	7	5	6	6	6	9	12	24	31	34	32	25	22	28	29	26	27	27	23	23	19	15	455
Julio	9	8	6	5	5	5	6	7	11	20	25	27	24	21	20	23	25	22	21	22	20	17	15	12	375
Agosto	8	7	5	5	4	5	5	7	11	22	26	29	26	21	20	25	22	24	24	26	23	20	16	12	395
Septiembre	8	7	6	5	5	5	6	7	13	24	30	29	26	22	21	26	24	25	26	27	24	21	17	12	416
Octubre	11	6	6	5	5	5	5	7	12	24	29	32	27	22	20	26	28	24	24	25	25	23	18	12	422
Noviembre	10	7	6	4	5	5	6	8	14	23	29	29	26	21	22	24	26	23	25	26	26	25	19	13	422
Diciembre	10	7	6	5	5	5	5	7	13	21	29	27	24	20	19	23	23	22	22	25	26	22	19	14	400

Se ha considerado que del total de pacientes que entran en la fase de diagnóstico-tratamiento el 80% requiere de Exploraciones complementarias, y sólo el 20% necesita que se le aplique un tratamiento. Estos porcentajes son comunes para pacientes de

tipo 4 y 5. Se han mantenido los datos relativos a la cantidad y tipología de recursos humanos, y se han modificado los valores de tiempos requeridos para completar los diferentes procesos, al objeto de incorporar los correspondientes a la configuración con el menor índice de similitud obtenida en el proceso de ajuste de parámetros (21-244):

Dint: 301 / Dexp: 118 / Dtrat: 67 / Etr: 117 / Eas: 150 / Rx: 133 / Adm: 50

En la tabla 19 se muestran los datos relativos a los pacientes atendidos en el nivel 1 en el Sistema Real, y en la tabla 20 se presentan los valores medios relativos a la cantidad de pacientes atendidos, los tiempos medios de atención, y la desviación estándar muestral de dichos tiempos, para pacientes de tipo 4 y 5. La información relativa a tiempos se expresa tanto en TICs como su equivalente en horas.

Se han ejecutado 12 simulaciones, tomando los datos de entradas de cada uno de los meses del año. Los resultados obtenidos son:

a) Valores de salida medios:

Qp5: 84 / Tp5: 3560 (3,49 h) / DETp5: 2652 (2,60 h)

Qp4: 66 / Tp4: 3759 (3,69 h) / DETp4: 2872 (2,82 h)

b) El valor del índice de similitud es de 0.297, lo que supone un empeoramiento en relación al valor obtenido en la fase de ajuste de parámetros. Esta diferencia puede ser debida a que entre los dos conjuntos de datos es posible que haya una diferencia, quizás significativa a lo largo del año de los equipos de profesionales sanitarios. No obstante, a pesar de ello, el índice de similitud y la prueba de Wilcoxon nos permiten tener una notable confianza en una predicción global. Estos resultados se podrían mejorar si en lugar de una predicción global anual se hiciera por meses.



Tabla 19. Promedio de pacientes atendidos a lo largo de las 24 horas del día, para los 12 meses del año.

	Total												
	En	Feb	Mar	Ab	May	Jn	Jl	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
0	9	6	6	7	5	9	3	6	6	6	7	5	6
1	7	6	4	5	9	7	5	6	6	4	7	9	6
2	6	6	7	9	6	6	4	5	6	6	6	6	6
3	9	5	10	9	7	8	4	2	4	4	9	6	6
4	4	3	6	1	7	6	4	3	5	5	4	5	4
5	5	4	4	4	5	4	3	3	4	1	4	3	4
6	3	1	2	5	4	6	5	3	4	5	3	5	4
7	5	2	4	3	3	4	6	2	6	6	5	3	4
8	7	6	7	6	6	6	5	7	2	2	6	5	5
9	5	7	5	8	7	5	8	4	6	8	7	9	7
10	8	5	9	7	7	9	8	6	7	8	10	5	7
11	6	8	7	6	7	6	6	9	7	8	5	8	7
12	5	8	6	7	6	6	6	6	6	8	6	5	6
13	10	5	8	6	9	9	8	8	6	6	8	5	7
14	7	8	8	7	4	6	6	5	9	6	5	6	6
15	7	6	4	5	8	9	8	9	7	5	8	9	7
16	6	7	11	7	6	6	7	5	7	8	9	7	7
17	8	8	6	9	7	6	7	6	7	6	5	7	7
18	7	7	5	7	7	8	7	6	7	8	8	8	7
19	7	6	12	6	7	7	8	8	6	8	5	5	7
20	9	8	3	4	6	6	7	6	8	6	10	9	7
21	4	8	10	3	10	7	5	6	6	8	8	6	7
22	5	6	3	9	7	5	9	5	8	6	6	6	6
23	8	8	10	11	8	10	6	9	7	8	8	8	8
	157	144	157	151	158	161	145	135	147	146	159	150	151

Tabla 20. Información correspondiente al SR relativa a la cantidad media de pacientes atendidos, tiempos medios de atención, y desviación estándar de los tiempos de atención

		[TICs (horas)]	[TICs (horas)]
Pacientes tipo 5	83	3.961 (3,88 h)	2.914 (2,86 h)
Pacientes tipo 4	66	3.974 (3,72 h)	3.010 (2,95 h)

c) comparación de los datos de salida de Sistema Real y Simulación

En las tablas 21, 22 y 23 se presentan los datos de pacientes atendidos a lo largo de las 24 horas de actividad correspondientes al total pacientes, pacientes de tipo 4 y de tipo 5 respectivamente.

Tabla 21. Promedio de pacientes atendidos a lo largo de las 24 horas del día, para los 12 meses del año.

	Total													Prom
	En	Feb	Mar	Ab	May	Jn	Jl	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic		
0	9	6	7	8	7	5	5	6	6	5	4	8	6	
1	8	7	5	7	5	5	7	4	4	6	5	9	6	
2	6	6	7	7	7	7	5	5	5	6	9	5	6	
3	7	9	6	7	7	6	4	4	1	7	3	8	6	
4	8	6	3	6	4	4	4	6	6	5	3	7	5	
5	1	2	7	5	5	5	2	1	5	4	5	6	4	
6	5	2	3	3	3	4	5	3	5	3	1	1	3	
7	3	4	5	3	6	5	3	5	3	6	5	4	4	
8	4	6	9	6	5	7	6	5	4	1	8	7	6	
9	7	7	5	9	6	6	5	8	7	7	6	6	7	
10	7	5	7	7	8	7	7	6	7	8	6	6	7	
11	7	10	6	7	8	8	7	7	7	7	5	8	7	
12	7	3	7	7	4	8	7	7	7	7	9	7	7	
13	8	6	7	7	8	6	7	7	7	5	6	9	7	
14	7	5	6	8	6	7	7	7	8	9	9	6	7	
15	8	8	8	8	6	7	8	6	6	7	6	6	7	
16	7	7	6	5	8	8	6	7	8	5	8	6	7	
17	7	8	7	8	9	6	8	10	9	9	6	6	8	
18	7	6	8	5	4	8	7	7	5	6	8	8	7	
19	7	6	8	8	9	6	7	5	4	7	6	6	7	
20	8	8	6	7	5	7	6	8	8	7	8	7	7	
21	7	8	6	8	9	8	8	6	8	7	7	5	7	
22	5	8	5	6	6	7	6	6	8	7	7	8	7	
23	8	5	9	7	8	6	7	7	8	7	6	9	7	
	158	148	153	159	153	153	144	143	146	148	146	158	151	

Tabla 22. Promedio de pacientes tipo 4 atendidos a lo largo de las 24 horas del día, para los 12 meses del año.

	P4													Prom
	En	Feb	Mar	Ab	May	Jn	Jl	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic		
0	5	5	4	4	4	2	2	1	1	1	2	6	3	
1	5	3	3	2	2	2	4	4	4	5	3	4	3	
2	2	1	3	3	0	2	2	3	3	1	5	4	2	
3	2	3	2	3	2	3	4	3	0	3	1	7	3	
4	4	1	2	1	0	1	3	4	2	2	3	4	2	
5	0	0	3	2	0	1	2	0	4	3	5	3	2	
6	2	0	1	0	2	0	3	1	4	2	1	1	1	
7	2	0	2	1	0	3	2	4	3	2	3	2	2	
8	2	3	1	1	2	0	2	3	3	1	7	6	3	
9	3	3	3	4	1	2	2	4	3	3	3	3	3	
10	3	4	5	3	2	2	3	2	5	1	4	4	3	
11	1	4	3	1	2	2	2	5	4	3	3	4	3	
12	3	1	2	1	1	2	4	5	4	3	3	5	3	
13	3	1	3	2	3	1	4	4	4	2	3	3	3	
14	1	3	3	3	2	2	4	1	5	6	5	4	3	
15	2	1	4	5	1	2	5	2	4	3	3	5	3	
16	3	3	1	2	2	2	4	4	5	4	5	4	3	
17	1	3	2	3	2	3	3	7	4	5	3	1	3	
18	3	2	3	0	1	1	2	3	1	3	5	7	3	
19	0	0	2	3	3	4	2	5	3	4	3	2	3	
20	0	3	2	3	2	1	5	5	3	6	5	3	3	
21	2	2	0	4	2	2	6	4	4	2	4	1	3	
22	1	4	3	3	2	0	3	5	3	4	4	6	3	
23	4	2	2	5	2	2	2	5	2	3	3	4	3	
	54	52	59	59	40	42	75	84	78	72	86	93	66	

Tabla 23. Promedio de pacientes tipo 5 atendidos a lo largo de las 24 horas del día, para los 12 meses del año.

	P5												Prom
	En	Feb	Mar	Ab	May	Jn	Jl	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic	
0	4	1	3	4	3	3	3	5	5	4	2	2	3
1	3	4	2	5	3	3	3	0	0	1	2	5	3
2	4	5	4	4	7	5	3	2	2	5	4	1	4
3	5	6	4	4	5	3	0	1	1	4	2	1	3
4	4	5	1	5	4	3	1	2	4	3	0	3	3
5	1	2	4	3	5	4	0	1	1	1	0	3	2
6	3	2	2	3	1	4	2	2	1	1	0	0	2
7	1	4	3	2	6	2	1	1	0	4	2	2	2
8	2	3	8	5	3	7	4	2	1	0	1	1	3
9	4	4	2	5	5	4	3	4	4	4	3	3	4
10	4	1	2	4	6	5	4	4	2	7	2	2	4
11	6	6	3	6	6	6	5	2	3	4	2	4	4
12	4	2	5	6	3	6	3	2	3	4	6	2	4
13	5	5	4	5	5	5	3	3	3	3	3	6	4
14	6	2	3	5	4	5	3	6	3	3	4	2	4
15	6	7	4	3	5	5	3	4	2	4	3	1	4
16	4	4	5	3	6	6	2	3	3	1	3	2	4
17	6	5	5	5	7	3	5	3	5	4	3	5	5
18	4	4	5	5	3	7	5	4	4	3	3	1	4
19	7	6	6	5	6	2	5	0	1	3	3	4	4
20	8	5	4	4	3	6	1	3	5	1	3	4	4
21	5	6	6	4	7	6	2	2	4	5	3	4	5
22	4	4	2	3	4	7	3	1	5	3	3	2	3
23	4	3	7	2	6	4	5	2	6	4	3	5	4
	104	96	94	100	113	111	69	59	68	76	60	65	85

En primer lugar se visualiza la salida de pacientes del sistema real con la simulación. Los gráficos muestran dichas salidas a lo largo de las 24 horas de actividad. La figura 25 muestra la información correspondiente a la totalidad de pacientes, la 26 a los pacientes de tipo 4, y la 27 a los pacientes de tipo 5.



Figura 25. Salida total de pacientes (sistema real y simulación) a lo largo de las 24 horas del día.



Figura 26. Salida de pacientes tipo 4 (sistema real y de simulación) a lo largo de las 24 horas del día.



Figura 27. Salida de pacientes tipo 5 (sistema real y de simulación) a lo largo de las 24 horas del día.

Tal y como se puede apreciar en las gráficas, la salida de pacientes coincide de manera muy importante con la salida de pacientes del sistema real en la gráfica correspondiente a la totalidad de pacientes. En el caso de pacientes de tipo 4 y 5 el ajuste también es muy importante si bien presentan mayores diferencias que en el caso de “total pacientes”.

A continuación se realizará la prueba de los “Signos de Wilcoxon”. El objetivo será verificar si se puede o no rechazar la Hipótesis de que “la diferencia entre los pares de las series de datos es cero”. Se hará los pacientes totales, para los pacientes de tipo 4 y para los pacientes de tipo 5. El resumen de los datos obtenidos se presenta en la tabla 24.

Tabla 24. Resumen de la información relevante relativa a la prueba de los “Signos de Wilconxon”.

	P	P 4	P 5
Nr	23	23	23
W	3	10	8
$W_{0.05, 23}$			
$\sigma_w$	65,76	65,76	65,76
Z	0,038	0,144	0,1141

Tal y como se puede observar en los 3 casos el valor de Z está por debajo de 1,96 (valor de Z crítico obtenido de las tablas), y en consecuencia *NO se puede rechazar la hipótesis de que la diferencia entre los datos de salida de pacientes del Sistema Real y de la Simulación correspondiente a la configuración 21-244 puede ser nula*. Es decir, que los datos de salidas de pacientes son similares.

#### 5.4. EJEMPLO DE APLICACIÓN: USO DEL SIMULADOR PARA PREDECIR LOS EFECTOS SOBRE EL SERVICIO DE URGENCIAS DEL HOSPITAL DE SABADELL DE POLÍTICAS DE DERIVACIÓN DE PACIENTES

Una vez realizada la sintonización del simulador con el SU del Hospital de Sabadell (Corporación Sanitaria del Parc Taulí), el simulador ha sido utilizado para realizar una predicción que permitiese evaluar los efectos sobre las prestaciones del servicio de urgencias de la derivación de pacientes de tipo 5 [60]. La saturación de los servicios de urgencias hospitalarios es un fenómeno que comparten los sistemas sanitarios de los países desarrollados [1]. Hay estudios que ponen de manifiesto que entre el 70 y el 80% de los pacientes que acuden a los SUH lo hacen por iniciativa propia [3, 4, 8, 10], y que alrededor del 50% de los pacientes atendidos en dichos servicios tienen patologías que podrían ser atendidas en los servicios de atención no urgente (ambulatorios, centros de atención primaria, etc). Es por ello que la derivación de este tipo de pacientes a otras unidades del sistema sanitario parece ser una medida esencial para

solucionar el problema de saturación. La derivación debe ser realizada después del proceso de triaje, una vez se ha identificado el nivel de urgencia/prioridad con el que debe ser atendido el paciente. De hecho Hospitales de tamaño grande como el Hospital Clínico de Barcelona o el Hospital Mutua de Terrassa han realizado experiencias piloto cuyos resultados son realmente satisfactorios [5]. Dichos estudios se han centrado en la identificación de protocolos que garanticen que la derivación es segura.

El objetivo del experimento es ofrecer información cuantitativa sobre los beneficios potenciales de la aplicación diferentes alternativas de políticas de derivación. En concreto el simulador será usado para evaluar los efectos sobre los indicadores del rendimiento del SU del Hospital de Sabadell de la derivación de los pacientes de tipo 5. Esto significa que una vez se haya identificado el nivel de prioridad, después de completar el proceso de triaje, dichos pacientes sean enviados a otras unidades del sistema sanitario, y por tanto abandonen el SUH.

El rendimiento del del SU ha sido medido a través de 3 indicadores:

1. El número de pacientes atendidos (totales, de tipo 4 y de tipo 5), es decir, los que completan todas las fases del proceso.
2. El tiempo medio de atención o permanencia en el SUH de los pacientes que completan el proceso (LoS – Length of Stay).

Se ha tenido en cuenta la información del servicio de urgencias del Hospital de Sabadell (Corporación Sanitaria del Parc Taulí) correspondiente al mes de febrero de 2.012:

- La llegada de pacientes al SU es de un promedio de 397 pacientes/día, de los cuales el 43,22% tenían un nivel de prioridad 4 y el 25,35% un nivel de prioridad 5.
- En relación a la cantidad de recursos humanos, el servicio ha operado con 2 administrativos en admisión (nivel de experiencia alto), 2 enfermeras de triaje (nivel de experiencia medio/bajo), 1 enfermera asistencial (nivel de experiencia alto) y 3 médicos (todos con un nivel de experiencia medio/bajo).
- Se han utilizado los tiempos identificados a través del proceso de sintonización, es decir:

Se han considerado 6 escenarios diferentes de derivación de pacientes 5: 0%, 20%, 40%, 60%, 80% y 100%. Un 0% significa que la totalidad de pacientes de tipo 5 permanecerán en el SU después de la fase de triaje, y serán atendidos en la fase de diagnóstico-tratamiento. Por el contrario, un 100% significa que la totalidad de pacientes de tipo 5 abandonarán el SU después de la fase de triaje. Además se han tenido en cuenta 6 escenarios de llegada de pacientes diferentes: el correspondiente a la información de llegada real (facilitada por el Hospital de Sabadell), y que ha sido identificado como "0%", y otros 5 escenarios en los que se ha incrementado la información original en un 20%, un 40%, un 60%, un 80% y un 100%.

Combinando ambos (derivación y llegada de pacientes), se han identificado un total de 36 escenarios diferentes. Para cada uno de ellos se han lanzado 20 ejecuciones diferentes, cada una de ellas con un valor de semilla diferente, y para cada escenario se ha calculado el valor medio. A continuación se analizan los resultados obtenidos.

#### **5.4.1. Análisis de los escenarios correspondientes a la llegada real de pacientes**

La tabla 25 resume los resultados obtenidos para los 6 escenarios de derivación (0 a 100%) correspondientes a la llegada real de pacientes, incluyendo cantidad de pacientes atendidos y tiempo medio de permanencia en el servicio. Para cada uno de los porcentajes de derivación la tabla incluye una columna "valor" con los valores de cada variable (en el caso de LoS expresado en horas), y otra con etiquetada como "var." que informa del porcentaje de variación calculado como diferencia en relación a la columna de 0% de derivación (el signo positivo significa aumento y el negativo una disminución).

Tabla 25. Número de pacientes que completan el proceso de atención y LoS (en horas) para los diferentes escenarios de derivación (0% a 100%) para la llegada real de pacientes

	% de derivación											
	0%		20%		40%		60%		80%		100%	
	Valor	Var.	Valor	Var.	Valor	Var.	Valor	Var.	Valor	Var.	Valor	Var.
<b>Cantidad de pacientes</b>												
Todos los pacientes	136		143	5%	146	7%	156	15%	167	23%	174	28%
Pacientes tipo 4	85		90	6%	92	8%	101	19%	111	31%	114	34%
Pacientes tipo 5	51		53	4%	54	6%	55	8%	56	10%	60	18%
<b>Estancia en SUH (horas)</b>												
Todos los pacientes	4,17		3,98	-5%	3,96	-5%	3,84	-8%	3,81	-9%	3,73	-11%
Pacientes tipo 4	4,36		4,30	-1%	4,08	-6%	4,00	-8%	3,93	-10%	3,90	-11%
Pacientes tipo 5	4,12		3,67	-11%	3,55	-14%	3,41	-17%	3,36	-18%	3,18	-23%

Con un 0% de derivación sólo 136 pacientes completan el proceso (51 de tipo 5 y 85 de tipo 4), frente a los 174 (60 de tipo 5 y 114 de tipo 4) cuando la derivación es del 100%, lo que significa que se consigue un aumento del 28,00% en los pacientes atendidos (34% en el caso de pacientes 4, y del 18% en el caso de pacientes 5). Analizando la variable “estancia en el SUH”, con un 0% de derivación los pacientes permanecen en el servicio un promedio de 4,17 horas (4,12 horas en el caso de pacientes de tipo 5 y 4,36 horas en pacientes de tipo 4), frente a un promedio de 3,73 horas (3,18 horas en pacientes de tipo 5 y 3,90 horas en pacientes de tipo 4) cuando la derivación es del 100%, lo que representa una reducción del 11% considerando la totalidad de pacientes (11% en pacientes 4 y 23% en pacientes de tipo 5). En conclusión, el aumento del porcentaje de derivación permite mejorar tanto la cantidad de pacientes atendidos como el LoS.

#### 5.4.2. Análisis de todos los escenarios de llegada

En esta sección se analizan los resultados obtenidos en el conjunto de escenarios. Dichos resultados son mostrados en las figuras 28 y 29. En general se puede concluir que, sea cual el escenario de llegada de pacientes, que el aumento del porcentaje de derivación permite mejorar tanto el número de pacientes atendidos como el LoS. No obstante parece que los márgenes de mejora tienen un límite. En el caso de la cantidad de pacientes atendidos, se observa que tiene un techo de 200 pacientes/día



para la cantidad de profesionales que se ha considerado, y que poder atender a más de 200 pacientes por día requeriría de aumentar la cantidad de profesionales (especialmente médicos) y/o contar con profesionales con mayor experiencia. En lo relativo al LoS, dato que es utilizado como indicador del nivel de calidad del SUH, la derivación de pacientes permite que mejore, pero de nuevo se observa que hay un

Llegada de Pacientes	% de derivación					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
Datos reales	136	143	146	156	167	174
20%	159	165	171	175	183	184
40%	169	172	176	178	185	187
60%	174	180	184	186	188	189
80%	176	182	187	190	196	200
100%	177	182	186	192	197	200

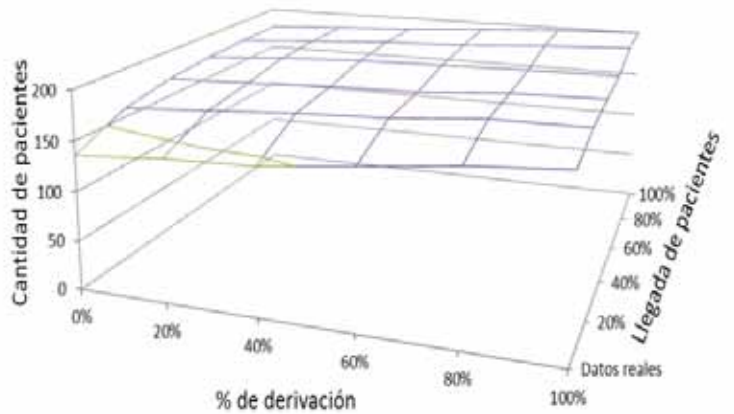


Figura 28. Cantidad de pacientes que completan el proceso para los diferentes escenarios de derivación y de llegada de pacientes

Llegada de Pacientes	% de derivación					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
Datos reales	4,17	3,98	3,96	3,84	3,81	3,73
20%	4,41	4,38	4,3	4,27	4,18	4,11
40%	4,49	4,45	4,41	4,36	4,29	4,2
60%	4,51	4,48	4,45	4,41	4,41	4,35
80%	4,51	4,49	4,47	4,47	4,45	4,42
100%	4,8	4,78	4,75	4,72	4,71	4,71

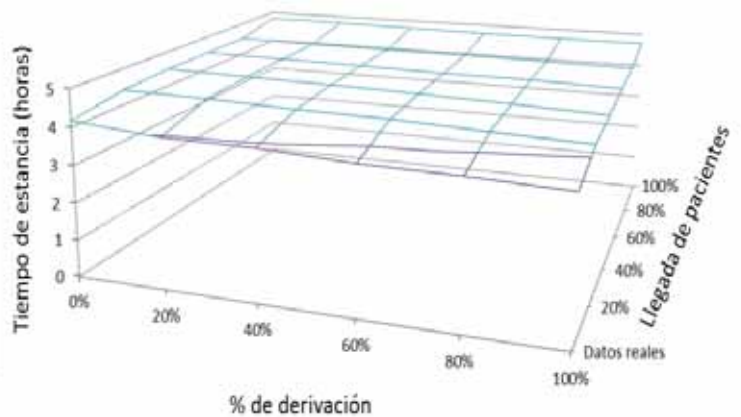


Figura 29. LoS (en horas) de los pacientes que completan el proceso para los diferentes escenarios de derivación y de llegada de pacientes

suelo de 3,73 horas. Para poder reducir el LoS por debajo de dicho suelo una vez más sería necesario aumentar la cantidad de profesionales (especialmente médicos) y/o contar con profesionales con mayor experiencia.

### Conclusiones, principales aportaciones y líneas abiertas

#### *Resumen*

En este capítulo se presentan las conclusiones alcanzadas en relación tanto al modelo conceptual, al modelo computacional y el simulador que lo implementa, como a la metodología de sintonización propuesta. Además se presentan las principales aportaciones de este trabajo de investigación. El capítulo se cierra apuntando las líneas abiertas, con el objetivo de dar continuidad al trabajo de investigación presentado.

## 6.1. CONCLUSIONES

En esta tesis se ha presentado el modelo conceptual, el modelo computacional y el simulador que lo implementa, que describen la dinámica compleja de los servicios de urgencias hospitalarios y que han sido diseñados aplicando una metodología basada en agentes. Ambos modelos han sido diseñados a partir de la información recogida de dos hospitales distintos, uno de tamaño grande, y el segundo de tamaño mediano. El modelo está formado en su totalidad a partir de las reglas de comportamiento de los agentes que componen el servicio de urgencias. Se han identificado 2 tipos de agentes: 1) agentes activos; 2) agentes pasivos. Los primeros representan a las personas que se pueden encontrar en un SUH y que actúan con cierta iniciativa y/o autonomía (pacientes, sus acompañantes, personal administrativo de admisión, técnicos sanitarios, enfermeras, médicos, etc). Mientras que los agentes pasivos representan sistemas del servicio de urgencias que intervienen de forma reactiva, esto es, cuando son utilizados o activados por un agente activo. Entre otros se trata de elementos como el sistema informático (en el que se almacena toda la información del paciente durante su paso por el SUH, y a través del cual se comunican los diferentes profesionales sanitarios) o servicios de diagnóstico como los de Radiología y los laboratorios.

En el caso particular de los agentes activos (individuos), su comportamiento ha sido modelado mediante máquinas de estado de Moore, en concreto una extensión que incluye transiciones de estado probabilísticas, para así recoger diferencias de comportamiento de un mismo tipo de agentes ante las mismas situaciones de partida. Se han considerado diferentes tipos de pacientes, en función del nivel de prioridad con el que deben ser atendidos, para así poder considerar las diferencias de tratamiento que experimentan durante su estancia en el SUH. En cuanto a los profesionales del servicio, se han considerado diferentes niveles de experiencia, pues el tiempo requerido para completar las tareas que tienen encomendadas será mayor cuanto menor sea su experiencia. Y para todos los agentes, pacientes y profesionales, se tiene en cuenta el nivel o habilidad de comunicación, variable que también influye en el

tiempo requerido para completar una interacción o fase del proceso en la que sea necesaria dicha comunicación.

La simulación ha sido implementada mediante Netlogo, un entorno de simulación basado en agentes especialmente indicado para la simulación de sistemas complejos, que permite dar instrucciones a miles de agentes independientes, la visualización de la simulación mientras está en ejecución, y la simulación paramétrica. Se ha implementado en el simulador una versión simplificada del modelo general, que incluye las cuatro áreas primarias del SUH (admisiones; triaje; las salas o boxes de atención de médicos, salas de atención de enfermeras asistenciales y zona de Rayos-X de la zona de diagnóstico-tratamiento; y 4 salas de espera), 5 tipos de pacientes (siguiendo la clasificación del Sistema Español de Triaje), personal de admisión, enfermeras de triaje y asistenciales, médicos de urgencias, y técnicos de radiología. En relación a los profesionales del servicio de urgencias, se contemplan 2 niveles de experiencia (junior y senior).

También se ha presentado en la tesis la metodología de sintonización entre la simulación y el servicio de urgencias real en el que quiera ser aplicado como sistema de ayuda a la toma de decisiones (DSS). Se trata de un proceso dividido en 2 etapas, una inicial de ajuste de parámetros, y una posterior que permite verificar la capacidad predictiva del simulador, y en consecuencia, su capacidad para ser utilizado como DSS por los responsables del SUH con el que haya sido sintonizado. Como resultado de la fase de ajuste de parámetros, se identifican los tiempos requeridos por el personal del SU para completar las diferentes etapas del proceso que permiten que los valores de salida del simulador y sistema real alcancen el nivel de similaridad prefijado. A través de la segunda etapa, se comprueba que la simulación, realizada una vez cargados los valores de los parámetros obtenidos en la primera etapa y utilizando datos de entrada correspondientes a un periodo distinto, genera unos resultados que tienen un nivel de similaridad prefijado con los resultados relativos al Sistema Real. En caso de que así sea el simulador estará en condiciones de ser usado como DSS en el SUH para el cual se ha llevado a cabo la sintonización.

La similaridad entre simulación y sistema real se mide a través de un índice que incluye diferencias absolutas y normalizadas de las siguientes variables: a) cantidades de pacientes tratados (con detalle para cada tipo de pacientes); b) tiempos que los pacientes atendidos permanecen en cada una de las etapas de los diferentes procesos (también con detalle para cada tipo de pacientes); y c) desviación estándar muestral de dichos tiempos.

Identificada la configuración de mejor ajuste, se lleva a cabo la comparación entre los resultados de la simulación y los del sistema real, mediante la comparación visual de la distribución de salida de pacientes a lo largo de cada una de las horas del periodo de tiempo simulado (total pacientes, y pacientes de cada tipo), y una comparación cuantitativa mediante el test estadístico de la prueba de “Signos de Wilcoxon” (Wilcoxon Signed-Rank Test), que permite determinar si los valores de las 2 series de datos son o no iguales, es decir, el grado de diferencia entre 2 series de datos. Dicha prueba se utilizará para comparar las series de datos de salida de pacientes a lo largo de las 24 horas del día, considerando la totalidad de pacientes, y repitiendo la comparación para cada tipo de pacientes.

El trabajo incluye la experimentación realizada con la finalidad de validar la metodología propuesta, tomando la información facilitada por el Servicio de Urgencias del Hospital de Sabadell (Corporació Sanitaria del Parc Taulí) correspondiente a los ejercicios 2.011 y 2.012. A través de la fase de ajuste de parámetros (realizada a partir de la información correspondiente al año 2.011) se ha podido identificar una configuración que permite alcanzar un índice de similaridad de 0,03436, y que a través de la comparación con los resultados del sistema real, permite concluir que efectivamente los resultados de la simulación presentan una elevada concordancia con los datos del sistema real (servicio de urgencias del Hospital de Sabadell – Corporación Sanitaria del Parc Taulí). En la fase de evaluación de la capacidad predictiva, una vez realizada la simulación tomando datos correspondientes al año 2.012, y cargando en el simulador los tiempos obtenidos en la fase anterior, de nuevo se puede concluir que simulación y sistema real se comportan de manera similar. Dadas las características del proceso de sintonización, a través de su realización también se lleva a cabo la

validación cuantitativa del modelo conceptual y de la simulación (modelo computacional).

La última parte de la tesis se dedica a ilustrar la utilidad de la simulación como sistema de ayuda a la toma de decisiones. En particular es aplicada para evaluar los efectos sobre los indicadores del rendimiento del SU del Hospital de Sabadell (cantidad de pacientes atendidos y tiempo de permanencia de dichos pacientes en el SUH) de la derivación de los pacientes de tipo 5 (pacientes de menor nivel de prioridad). Una vez se haya identificado su nivel de prioridad (después de completar el proceso de triaje), dichos pacientes serían enviados a otras unidades del sistema sanitario, y por tanto abandonarían el SUH. Se plantearon 6 escenarios diferentes de derivación (de un 0% a un 100%), combinado con 6 escenarios de llegada de pacientes (desde los datos de llegada reales, hasta un incremento del 100%). Los resultados muestran que efectivamente tanto el número de pacientes atendidos como los tiempos toales de permanencia en el servicio mejorar a medida que el porcentaje de derivación aumenta, aunque al introducir el aumento en la llegada de pacientes, los resultados de la simulación muestran que las mejoras tienen un límite, es decir, que aunque aumente la derivación, no se consiguen mejoras significativas (tanto en pacientes como en tiempos), y por tanto sería recomendable utilizar menores porcentajes de derivación (con el efecto positivo que provocaría en la percepción de los pacientes que “no” son derivados, es decir, que son atendidos en el servicio) y pensar en otras acciones complementarias como el aumento de la cantidad de profesionales y/o la utilización de profesionales con mayor experiencia.

## **6.2. PRINCIPALES APORTACIONES**

Las aportaciones de esta tesis pueden ser distinguidas en 2 niveles diferenciados:

- A. Un modelo conceptual muy completo y extenso, desarrollado conjuntamente por expertos con perfil sanitario y expertos con perfil informático.
- B. Un modelo computacional y su simulador. En este caso es un “subconjunto” del modelo conceptual. Se trata de una prueba del modelo conceptual global a una

escala que permita compatibilizar el nivel del modelo, para comparar los resultados de la simulación con el sistema real, con la complejidad que implica la codificación y depuración del simulador que soporta el modelo computacional.

En relación a los trabajos previos realizados el modelo conceptual desarrollado incluye una mayor variedad de agentes. De un lado la tipología de pacientes, que responde a los estándares y clasificaciones establecidas por modelos aceptados internacionalmente (Sistema Español, Modelo Canadiense, Modelo Andorrano), y que no cubriendo los modelos utilizados en todo el mundo, es fácilmente adaptable para recoger las particularidades de dichos modelos. Introducir la tipología permite que el modelo y la simulación pueda recoger las particularidades que los procesos de atención tienen para cada uno de dichos tipos, y enriquece las posibilidades de aplicación como DSS.

Además incorpora tipos de profesionales del servicio y otros agentes no tenidos en cuenta en los trabajos previos. Así ocurre con los acompañantes de los pacientes (quiénes desempeñan un papel activo en determinados tipos de pacientes), los técnicos de radiología, el sistema informático y laboratorios.

También incorpora variables como la capacidad de comunicación de los agentes activos, y la experiencia de los profesionales del servicio, de nuevo aspectos relevantes con efectos indiscutibles sobre el funcionamiento del SUH, especialmente en países como el español o zonas geográficas en las que la población inmigrante representa una proporción importante del total de pacientes atendidos en los servicios de urgencias. En cuanto al nivel de experiencia, los profesionales expertos que han colaborado en el desarrollo del trabajo de investigación, manifestaban que efectivamente se trata de un elemento influyente y que resultaba conveniente tener en cuenta.

La completitud del modelo conceptual y las características del modelo computacional hacen posible su generalización, de forma que pueden ser aplicados en más de un servicio de urgencias. Esto es posible gracias a las características del modelo

conceptual, y al proceso de sintonización entre el modelo computacional y el sistema real. Los resultados obtenidos en la experimentación descrita permiten concluir que la metodología propuesta aporta resultados esperanzadores.

Tal y como se comentó en el punto “3. Marco de trabajo” del capítulo 3, a lo largo de las 3 iteraciones seguidas hasta la obtención de la versión 1.2 de la simulación, se han realizado un total de 8 artículos presentados en 7 Congresos Internacionales correspondientes a los tres ámbitos en los que se desarrolla esta investigación (sanitario; modelización y simulación; y computacional), 1 artículo en revista y un capítulo de libro. El detalle es el siguiente:

#### A. Artículos en Congresos Internacionales

1. Stainsby, H., **M. Taboada**, E. Luque. “Towards an agent-based simulation of hospital emergency departments” IEEE Computer Society, 2009, pp.536-539
2. Stainsby, H., **M. Taboada**, E. Luque. “Agent-Based Simulation to support decision making in Healthcare Management Planning”, 2010, HEALTHINF International Conference.
3. **Taboada M.**, E. Cabrera, E. Luque. “An Agent-Based Decision Support System for Hospital Emergency Departments”, 2011, HEALTHINF International Conference. ISBN: 978-989-674-016-0
4. **Taboada M.**, E. Cabrera, E. Luque. “A Decision Support System for Hospital Emergency Departments built using Agent-Based Techniques”, 2011, PAAMS 2011 - Practical Application of Agents and Multiagents Systems. ISBN: 978-3-642-19874-8.
5. **Taboada, M.**, E. Cabrera, M.L. Iglesias, F. Epelde, and E. Luque. “An Agent-Based Decision Support System for Hospital Emergency Departments” Procedia Computer Science 2011 (4): 1880-1889
6. **Taboada, M.**, E. Cabrera, F. Epelde, M.L. Iglesias, and E. Luque “A Decision Support System for Hospital Emergency Departments built using Agent-Based Techniques” 2012 Winter Simulation Conference
7. **Taboada, M.**, E. Cabrera, F. Epelde, M.L. Iglesias, and E. Luque “A Decision Support System for Hospital Emergency Departments designed using Agent-Based Modeling and Simulation” 2012 IEEE International Conference on Information Reuse and Integration in Health Informatics (IRI-HI 2012)
8. **Taboada, M.**, E. Cabrera, M.L. Iglesias, F. Epelde, and E. Luque. “Using an Agent-Based Simulation for predicting the effects of patients derivation policies



in Emergency Departments” in Proceedings of the 2013 International Conference on Computational Science

## B. Artículos en revistas

1. **Taboada, M.**, E. Cabrera, F. Epelde, M.L. Iglesias, E. Luque “Agent-based emergency decision-making aid for hospital emergency departments” 2012 *Emergencias* 2012; 24: 189-195

EMERGENCIAS (ISSN: 1137-6821); Impact Factor: **2,486**; Cuartil en la categoría: Q1; Ranquin en la categoría: 3 de 24.

## C. Capítulo de libro

Book Title: *Advances in Computational Modeling Research: Theory, Developments and Applications*

Chapter 1: Modeling, simulation and optimization of resources management in hospital emergency departments using the Agent-Based approach (pp 1-32).

Authors: Manel Taboada, Eduardo Cabrera, Emilio Luque, Francisco Epelde and M.Luisa Iglesias.

Series: Computer Science, Technology and Applications. Computational Mathematics an Analysis Series.

Publication Date: 2013

Editors: Anna Belya Kora (NOVA SCIENCE PUBLISHERS, INC.)

ISBN: 978-1-62618-065-9

En los artículos 1 y 2 se justificaba la utilidad la simulación como componente de un DSS para responsables del SUH, así como las ventajas del ABMS frente a metodologías alternativas, y se presentó la metodología general de desarrollo del trabajo. En las publicaciones 3 y 4 se presentaron los detalles del modelo general del SUH, y las características de la primera versión de la simulación (versión 0), que incorporaba las fases de admisión y triaje, y una simplificación de la fase de diagnóstico-tratamiento. En lo que agentes se refiere incluía pacientes de 1 tipo, personal de admisión, enfermeras de triaje y médicos. Los resultados de los experimentos llevados a cabo para verificar esta versión del simulador fueron presentados en la quinta publicación. En los artículo 6 y 7 se presentaron las características de la versión 1.2 del simulador (la misma que se desarrollo en el punto 3.8 de esta memoria), que incorpora la llegada real de pacientes, diferentes tipos de pacientes (según el nivel de prioridad con el que

deben ser atendidos), y el refinado de la fase de diagnóstico-tratamiento. En el último artículo se presentaron los resultados de la experimentación relativa a las políticas alternativas de derivación de pacientes no urgentes, que han sido presentados en detalle en el punto 5.4. de la memoria.

### **6.3. LÍNEAS ABIERTAS**

Este trabajo plantea diversas líneas abiertas que permitirán su continuidad futura.

#### **Refinado del modelo computacional**

Llevar a cabo la implementación en el simulador del nivel 2 de la fase de diagnóstico-tratamiento, y realizar los experimentos de sintonización en diversos servicios de urgencias, para así poder verificar si efectivamente se alcanza el objetivo de generalización.

Ampliar el modelo computacional incluyendo más componentes del modelo conceptual definido, e incluso ampliar algo el modelo conceptual. A modo de ejemplo, por ser uno de los más relevantes y por el interés que tienen desde el punto de vista de la aplicabilidad como DSS, la incorporación de la salida del SUH a través de hospitalización, lo que permitiría analizar la congestión generada por el hecho de la mayor o menor capacidad para generar disponibilidad de camas en el hospital en cuestión.

#### **Mejora del proceso de sintonización**

Un segundo grupo de acciones correspondería a líneas complementarias al trabajo hecho. En primer lugar analizar los resultados obtenidos en los experimentos de sintonización, y realizando un análisis de sensibilidad entre los cambios de valor de los parámetros a ajustar y el valor del índice, identificar una metodología que permita reducir el número de configuraciones y por tanto de simulaciones a realizar, con el consecuente ahorro de recursos y de tiempo de cómputo. Es decir, identificar una metodología de sintonización más eficiente.

### **Mejoras relativas a la aplicación y escenarios de uso**

Una aplicación interesante del DSS sería poderlo utilizar tomando información en tiempo real de la llegada de pacientes al sistema, y así poder analizar la configuración del SUH que permite dar la atención más adecuada a la cantidad y tipología de pacientes que están llegando al servicio. Para poder disponer de resultados en un margen de tiempo muy corto, el requerido para poder tomar las decisiones con agilidad suficiente, se tendría que pensar en un sistema ágil de recogida y lectura de información del sistema real, y además pensar en mejorar la eficiencia del proceso de sintonización refinando las técnicas de paralelización, para así reducir de manera muy significativa el tiempo de respuesta.

También sería interesante poder aplicar el DSS a nivel regional, incorporando los servicios de urgencias de todos los hospitales de una determinada zona o área geográfica, para así poder hacer una distribución equilibrada y eficiente de los pacientes de dicha zona o región que requieran de una atención urgente. Teniendo una visión en tiempo real del conjunto (congestión de los diferentes SUH, teniendo en cuenta la cantidad y tipología de pacientes que han llegado hacer una estimación de los tiempos de espera y atención estimados mediante el uso de la simulación), que un profesional pueda analizar la situación global, y según cuál sea el perfil del paciente, recomendar a qué servicio de urgencias enviarlo. Incluso sería interesante que el sistema de información pueda ser consultado directamente por el paciente (o un familiar), y que el propio sistema le recomiende el SUH al que dirigirse teniendo en cuenta la información del conjunto. Pensando en el usuario, se podría hacer a través de un servicio WEB accesible tanto desde ordenador personal, portátil o incluso dispositivo móvil.

Finalmente se ha planteado la posibilidad de poder utilizar la simulación como herramienta de ayuda en procesos de formación de los profesionales que vayan a ocupar u ocupen funciones de gestión dentro de los SUH.

## Referencias bibliográficas

- [1] Ovens H. Saturación de los servicios de urgencias. Una propuesta desde el Sistema para un problema del Sistema. *Emergencias*. 2010;22:244-6.
- [2] Flores CR. La saturación de los servicios de urgencias: una llamada a la unidad. *Emergencias*. 2011;23:59-64.
- [3] Zaragoza Fernández M, Calvo Fernández C, Saad Saad T, Morán Portero FJ, San José Pizarro S, Hernández Arenillas P. Evolución de la frecuentación en un servicio de urgencias hospitalario. *Emergencias*. 2009;21:339-45.
- [4] Juan A, Enjamio E, Moya C, García Fortea C, Castellanos J, Pérez Mas JR, et al. Impacto de implementación de medidas de gestión hospitalaria para aumentar la eficiencia en la gestión de camas y disminuir la saturación del servicio de urgencias. *Emergencias*. 2010;22:249-53.
- [5] Salmerón, J.M., L. Jiménez, O. Miró and M. Sánchez. 2011 "Safety and efficacy of hospital emergency departments discharge from triage by nurses accredited to use an algorithm aid for the Spanish Triage System without physician evaluation" In *Emergencias* 2011; 23: p.p. 346-355
- [6] Zaragoza Fernández M, Calvo Fernández C, Saad Saad T, Morán Portero FJ, San José Pizarro S, Hernández Arenillas P. Evolución de la frecuentación en un servicio de urgencias hospitalario. *Emergencias*. 2009;21:339-45.
- [7] Juan A, Enjamio E, Moya C, García Fortea C, Castellanos J, Pérez Mas JR, et al. Impacto de implementación de medidas de gestión hospitalaria para aumentar la eficiencia en la gestión de camas y disminuir la saturación del servicio de urgencias. *Emergencias*. 2010;22:249-53.
- [8] Espinosa G, Miró O, Coll-Vinent B, Sánchez M, Millá J. Effects of internal and external factors on emergency department overcrowding. *Ann Emerg Med*. 2002;39:693-5.
- [9] Ochoa FJ, Ramalle-Gomara E, Villar A, Ruiz J, Bragado C, Gimeno C. Visitas inapropiadas al servicio de urgencias de un hospital general. *Med Clin (Barc)*. 2000;115:377-8.
- [10] Sempere T, Peiró S, Sandra P, Martínez C, López I. Inappropriate use of an accident emergency department: magnitude, associated factors and reasons –an approach with explicit criteria. *Ann Emerg Med*. 2001;37:568-79.
- [11] Aranaz JM, Martínez R, Rodrigo V, Gómez F, Antón P. Adecuación de la demanda de atención sanitaria en servicios de urgencias hospitalarios. *Med Clin (Barc)*. 2004;123:615-8.
- [12] Hancock W. M., P. F. Walter, The use of computer simulation to develop hospital systems, *SIGSIM Simul. Dig.* 10 (4) (1979) 28–32.

- [13] Saunders C. E., P. K. Makens, L. J. Leblanc, Modeling emergency department operations using advanced computer simulation systems, *Annals of Emergency Medicine* 18 (2) (1989) 134–140.
- [14] Ahmed M. A., T. M. Alkhamis, Simulation optimization for an emergency department healthcare unit in Kuwait, *European Journal of Operational Research* 198 (3) (2009) 936 – 942.
- [15] Weng, S.J. B. Cheng, S. Kwong, L. Wang, and C. Chang. “Simulation optimization for emergency department resources allocation” *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*
- [16] Escudero-Marin, P., M. Pidd. “Using ABMS to simulate emergency departments” *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*.
- [17] C. Macal, M. North, Tutorial on agent-based modeling and simulation part 2: how to model with agents, in: *Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2006*, pp. 73–83.
- [18] Wilensky U. (1999) *NetLogo Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling*, Northwestern University Evanston, IL.
- [19] R. Allan, Survey of Agent Based Modelling and Simulation Tools, Computational Science and Engineering Department, STFC Daresbury Laboratory, Daresbury, Warrington, 2010, available on-line in :  
<http://193.62.125.70/Complex/ABMS/ABMS.html>
- [20] Babin, P., and A.Greenwood. 2011. “Discretely Evaluating Complex Systems” *Industrial Engineer Magazine* 43(2): 34-38
- [21] Axelrod, R. An evolutionary approach to norms. *The American Political Science Review*, 80(4):1095–1111, Jan 1986.
- [22] Jun J. B., S. H. Jacobson, J. R. Swisher, Application of discrete-event simulation in health care clinics: A survey, *Journal of the Operational Research Society* (1999) 109–123.
- [23] Brailsford, C. S. 2007 “Tutorial: Advances and Challenges in Healthcare Simulation Modeling” In *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference* edited by S. G. Henderson, B. Biller, M.-H. Hsieh, J. Shortle, J. D. Tew, and R. R. Barton, eds.
- [24] Kanagarajah, A.K., P.A. Lindsay, A.M. Miller, and D.W. Parker “An exploration into the uses of agent-based modeling to improve quality of health care” *Proceedings of the 2006 International Conference on Complex Systems*.
- [25] Günal, M. “Simulation Modelling for Understanding Performance in Healthcare” Department of Management Science, Lancaster University, Lancaster.
- [26] Stainsby, H., M. Taboada, E. Luque. “Towards an agent-based simulation of hospital emergency departments” *IEEE Computer Society*, 2009, pp.536-539.

- [27] Stainsby, H., M. Taboada, E. Luque. “Agent-Based Simulation to support decision making in Healthcare Management Planning”, 2010, HEALTHINF International Conference.
- [28] Taboada M., E. Cabrera, E. Luque. “An Agent-Based Decision Support System for Hospital Emergency Departments”, 2011, HEALTHINF International Conference. ISBN: 978-989-674-016-0
- [29] Taboada M., E. Cabrera, E. Luque. “A Decision Support System for Hospital Emergency Departments built using Agent-Based Techniques”, 2011, PAAMS 2011 - Practical Application of Agents and Multiagents Systems. ISBN: 978-3-642-19874-8.
- [30] Bonabeau, E. “Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems” Proceedings of the National Academy of Sciences 99 (2002) 7280–7287.
- [31] Norling, E., L. Sonenberg, and R. Rönquist. “Enhancing multi-agent based simulation with human-like decision making strategies” in: MABS, 2000, pp. 214–228
- [32] Paulussen, T.O., A. Zöller, A. Heinzl, L. Braubach, A. Pokahr, and W. Lamersdorf. “Patient scheduling under uncertainty” Proceedings of the 2004 ACM symposium on Applied computing.
- [33] Hutzschenreuter A. K., P. A. Bosman, H. Poutr’e, Evolutionary multiobjective optimization for dynamic hospital resource management, in: EMO ’09: Proceedings of the 5th International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009, pp. 320–334.
- [34] Jones S. S., R. S. Evans, An agent based simulation tool for scheduling emergency department physicians, in: AMIA Annual Symposium proceedings, AMIA Symposium, 2008, pp. 338–342.
- [35] Laskowski M., S. Mukhi, Agent-based simulation of emergency departments with patient diversion, in: eHealth, 2008, pp. 25–37.
- [36] Wang L., An agent-based simulation for workflow in emergency department, in: Systems and Information Engineering Design Symposium, 2009. SIEDS ’09., 2009, pp. 19 –23.
- [37] Ruohonen T., P. Neittaanmaki, J. Teittinen, Simulation Model for Improving the Operation of the Emergency Department of Special Health Care, in: Simulation Conference, 2006. WSC 06. Proceedings of the Winter, 2006, pp. 453–458.
- [38] Persson J. A., P. Davidsson, S. J. Johansson, F. Wernstedt, Combining agent-based approaches and classical optimization techniques, in: EUMAS, 2005, pp. 260–269.
- [39] Gilbert N. Agent-Based Models. Series: Quantitative Applications in the Social Science. SAGE Publications Inc. 2008.

- [40] Schelling T.C. Dynamic models of segregation . *Journal of Mathematical Sociology*, 1971; 1, 143-148.
- [41] Sakoda, J.M. The checkerboard model of social interaction. *Journal of Mathematical Sociology*, 1971; 1, 119-131.
- [42] Zhang, J. A dynamic model of residential segregation. *Journal of Mathematical Sociology*, 2004; 28(3), 147-170.
- [43] Deffuant, G. Comparing extremism propagation patterns in continuous opinion models. *Journal of artificial societies and social simulation*, 2006; 9(3). Retrieved from: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/9/3/8.html>
- [44] Jansen, M., Jagger, W. An integrated approach to simulating behavioural processes: a case study of the lock-in of consumption patterns. *Journal of artificial societies and social simulation*, 1999; 2(2). Retrieved from: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/2/2/2.html>
- [45] Izquierdo, S., L.R The impact on market efficiency of quality uncertainty without asymmetric information. *Workshop on Agent-Based Models of Consumer Behaviour and Market Dynamics*, 2006; Guildford, UK.
- [46] Gilbert, N., Pyka, A., Ahrweiler, P. Innovation networks: A simulation approach. *Journal of artificial societies and social simulation*, 2001; 4(3). Retrieved from: <http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/4/3/8.html>
- [47] Strader, T.J., Lin, F., and Shaw.M.J. Simulation of order fulfillment in divergent assembly supply chains. *Journal of artificial societies and social simulation*, 1998; 1(2). Retrieved from: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/1/2/5.html>
- [48] Batten, D. and Grozev.G. NEMSIM: Finding ways to reduce greenhouse gas emissions using multi-agent electricity modelling. In P. Perez & D. Batten (Eds.), *Complex Science for a complex world*. 2006 pp. 227-252
- [49] Epstein, J.M. Agent-based computational models and generative social science. *Complexity*, 4(5):41–60, 1999.
- [50] R Brooks. A robust layered control system for a mobile robot. *Robotics and Automation, IEEE Journal of*, 2(1):14 – 23, 1986.
- [51] S Ward. Arguments for constructively simple models. *Journal of the Operational Research Society*, 40(2):141–153, Jan 1989.
- [52] Taboada, M., E. Cabrera, M.L. Iglesias, F. Epelde, and E. Luque. “An Agent-Based Decision Support System for Hospital Emergency Departments” *Procedia Computer Science* 2011 (4): 1880-1889
- [53] Taboada, M., E. Cabrera, F. Epelde, M.L. Iglesias, and E. Luque “A Decision Support System for Hospital Emergency Departments built using Agent-Based Techniques” 2012 Winter Simulation Conference

- [54] Taboada, M., E. Cabrera, F. Epelde, M.L. Iglesias, and E. Luque “A Decision Support System for Hospital Emergency Departments designed using Agent-Based Modeling and Simulation” 2012 IEEE International Conference on Information Reuse and Integration in Health Informatics (IRI-HI 2012)
- [55] Fernández, A. Pijoan J. Ares M. Mintegi S. and Benito F (2010) Evaluación de la escala canadiense de triaje pediátrico en un servicio de urgencias de pediatría europeo In *Emergencias* 2010; 22: p.p. 355-360
- [56] Katz RH, Borriello G. *Contemporary logic design*. Nueva York: Pearson Prentice Hall; 2005.
- [57] R Wuerz, L Milne, and D Eitel. Reliability and validity of a new five-level triage instrument. *Academic Emergency Medicine*, 7(3):236–242, Jan 2008.
- [58] C Fernandes, P Tanabe, N Gilboy, and L Johnson. Five-level triage: a report from the acep/ena five-level triage task force. *Journal of Emergency Nursing*, 31(1):39–50, Jan 2005.
- [59] Sargent R.G. “Verification and validation of simulation models” *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, ed. B. Johansson, S. Jain, J. Montoya-Torres, J. Hagan, and E. Yücesan, 166-183
- [60] Taboada, M., E. Cabrera, M.L. Iglesias, F. Epelde, and E. Luque. “Using an Agent-Based Simulation for predicting the effects of patients derivation policies in Emergency Departments” in *Proceedings of the 2013 International Conference on Computational Science*
- [61] Wolfe, D. A., & Hollander, M. (1973). *Nonparametric statistical methods*. Nonparametric statistical methods.



## Descripción funcional del Servicio de Urgencias

## Descripción funcional del Servicio de Urgencias (segunda iteración de la espiral)

Autor: Manel Taboada;

Fecha autoría: 31 de marzo de 2.011

Última actualización: 21 de octubre de 2.012

### FUENTES DE INFORMACIÓN:

- Entrevistas en profundidad mantenidas durante el primer trimestre de 2.009 con Sra. Montserrat Edo, enfermera de Triage del Servicio de Urgencias (SU) del Hospital de Mataró
- Ronda de reuniones plenarias mantenidas con responsables de los diferentes colectivos del SU (Directora del SU; Director del USU; Jefa de enfermeras)
  - o 9 de noviembre de 2.009
  - o 23 de febrero de 2.010
  - o 1 de julio de 2.010
  - o 15 de febrero de 2.012
- Entrevistas en profundidad mantenidas con el Dr. Francisco Epelde:
  - o 26 de octubre de 2.010
  - o 24 de marzo de 2.011
  - o 19 de Julio de 2.011
  - o 2 de diciembre de 2.011
  - o 6 de mazo de 2.012
  - o 18 de septiembre de 2.012
- Entrevista con el Dr. Joaquin Coll (antiguo responsable del SU), y el Dr. Elías Skaf Peters (Jefe del Servicio de Urgencias, i Coordinadorde Urgencias AIS Litoral del Mar) ambos del Hospital del Mar: 19 de octubre de 2012
- Organización funcional según MAT

### **ETAPAS POR LAS QUE PASA EL PACIENTE**

Durante su estancia en el Servicio de urgencias, el paciente pasa por diferentes zonas y fases o procesos, e interactúa con diferentes personas de dicho servicio. La figura 1 refleja de forma gráfica las principales. A lo largo de este documento se analizan de forma exhaustiva lo que ocurre a lo largo de cada una de las etapas, las agentes que intervienen en ellas, y se ilustra con información y datos concretos correspondientes al CSPT.

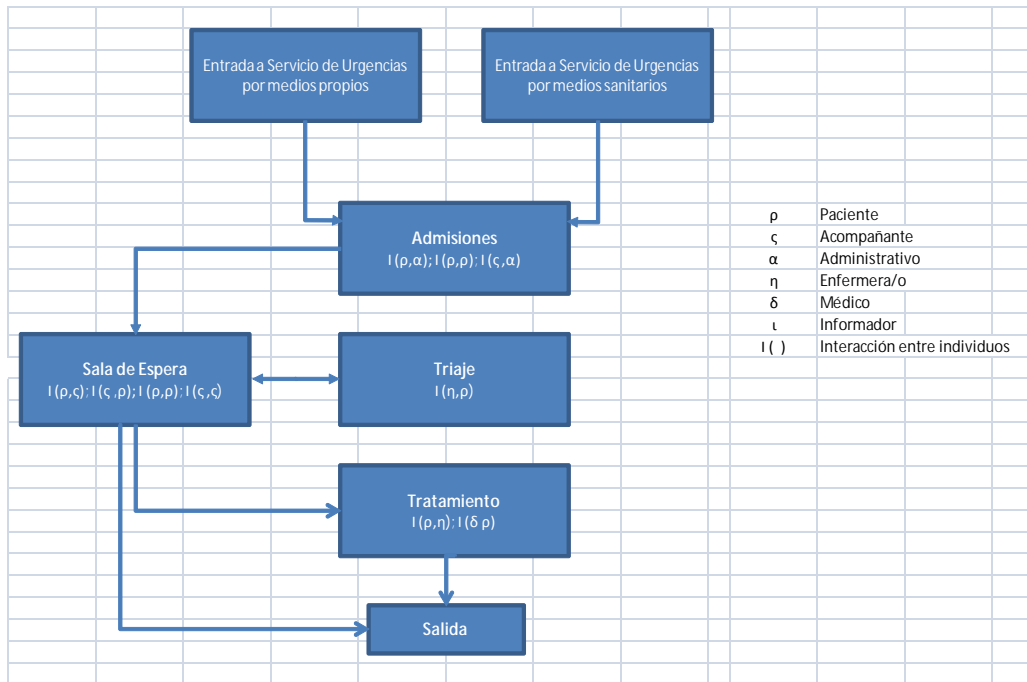


Figura 1. Etapas generales del SU por las que pasa el paciente

### ENTRADA/LLEGADA A S.U.

El paciente puede llegar al SU:

- Por medios propios
- Por medios propios con volante de médico de cabecera (P10). A este paciente se le asigna por defecto nivel de prioridad II (más adelante se amplía la información sobre los niveles de prioridad).
- Por medios sanitarios (en ambulancia).

La zona de llegada y los mostradores de admisión para pacientes que llegan por medios propios está “físicamente” separada de la zona de llegada y mostradores de admisión para pacientes que llegan por medios sanitarios. Los BOXes de Triage son los mismos, con puertas de entrada/salida a la sala de espera en la que el paciente permanece hasta ser triado (una vez ha pasado por el proceso de admisión), y al pasillo/corredor de entrada de los pacientes que llegan por medios sanitarios. La figura 2 muestra esta distribución de forma gráfica.

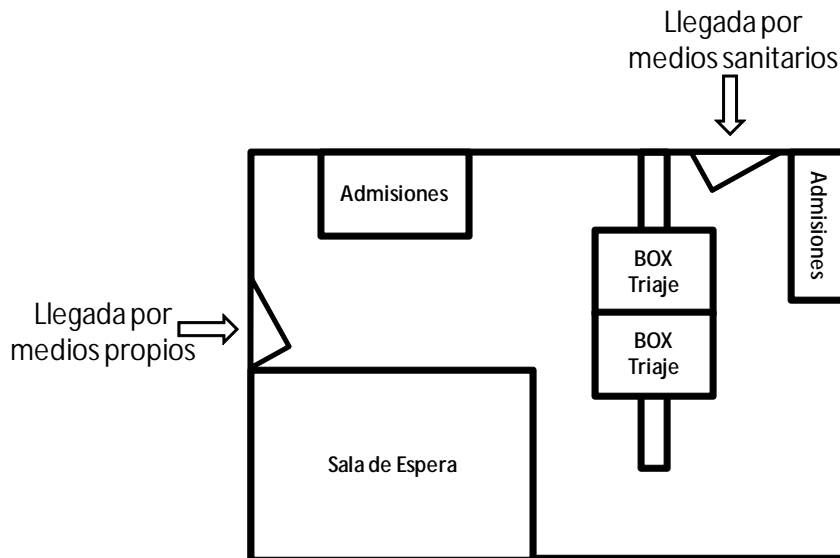


Figura 2. "Layout" zona admisión y triaje

#### Descripción del proceso de llegada (entrada) al SU:

A- Paciente que llega por medios propios: es posible que entre directamente el paciente, o que llegue un familiar del paciente y pida una silla de ruedas **al personal de admisión (Interacción Ac – PA y/o P - PA)**. En caso particular de "partos", normalmente también se le facilita una silla de ruedas. En caso de que el parto sea inminente se llama a un **camillero**, quién lleva a la paciente a la sala de partos en camilla (**Interacción C - PA**)..

En caso de que el paciente o su familiar entre a SU alterado (gritando) será atendido por el **Guarda de Seguridad**, quién trata de tranquilizarlo y lo dirige a la zona de admisiones. (**Interacción GS con P o Ac**). La función principal del GS es proteger al personal sanitario.

B- Paciente que llega al SU a través de transporte sanitario (conducido por **técnico de transporte sanitario**): En la ambulancia podrán ir (aparte del paciente y su acompañante):

- Técnico Transporte Sanitario (TTS)
- TTS y Enfermera
- TTS, Enfermera y Médico
- TTS y Acompañante

Es posible que un mismo servicio de ambulancia traiga 2 pacientes (1 sentado y 1 otro en camilla).

Sea cuál sea el personal que llegue, el circuito que se sigue siempre es el mismo: si el paciente llega consciente y puede hablar, se realizará el proceso de admisión y triaje directamente con el paciente.

En casos en los que llegan pacientes con un nivel de prioridad alto (los niveles I y II que se describen más adelante) el triaje puede ser llevado a cabo en la misma ambulancia, y lo primero que se hace es introducir al paciente en la ZONA MÉDICA (diagnóstico y tratamiento), y una vez se ha iniciado el proceso, el Técnico Sanitario o el familiar se ocupa de ir a Admisión y completar el proceso de admisión (hay casos en los que mientras TTS habla con Et el Ac completa el trámite de admisión).

Los pacientes llegan con una variedad finita pero muy amplia de síntomas, que, en la fase de triaje son asociados a un nivel de prioridad, y después de haber completado el proceso de “diagnóstico y tratamiento” serán asociados a una patología Concreta (el número de patologías también es finito pero amplio).

En la fase de triaje son agrupados en 5 niveles de prioridad (teniendo en cuenta el modelo andorrano de triaje - MAT, que es el que se aplica en España):

- Niveles I y II: Prioridad máxima.
- Niveles III y IV: pacientes que deben ser tratados en ED, siendo de mayor prioridad los de III que los de IV.
- Nivel V: a priori pacientes que han acudido a ED pero que deberían haber ido a un Centro de Asistencia Primaria. Son atendidos sin prioridad alguna. Como veremos más adelante, resulta de especial interés analizar qué efectos provocaría sobre la saturación del servicio el hecho de que fueran derivados a su médico de cabecera desde el “traje”, sin entrar a la zona de “diagnóstico-tratamiento”.

A pesar de haber 5 niveles, teniendo en cuenta el proceso que se sigue desde que se entra al ED hasta que el paciente lo abandona, podemos identificar 2 grandes grupos:

**a) GRUPO 1 (que incluye pacientes con nivel de prioridad I y II):** en cuanto llegan se les da prioridad máxima. Nada más llegar al SU son triados (salvo que ya se haya hecho en la ambulancia), y son introducidos a la ZONA MÉDICA (hay un Box de Atención de Pacientes críticos siempre reservado). El proceso de admisión es realizado en paralelo por el acompañante del paciente (en caso de venir acompañado), y en caso de venir solo, por el propio Técnico Sanitario una vez ya está siendo atendido en la ZONA MÉDICA.

**b) GRUPO 2 (que incluye pacientes con niveles III, IV y V):** para los pacientes de este grupo se abren 2 tipos diferenciados proceso, según cuál sea la “gravedad observada” del paciente.

## INFORMACIÓN CSPT

A modo de ejemplo se incluye el detalle de información (distribución de pacientes según tipología, correspondientes a año 2.009) en documento EXCEL:

	Datos a diciembre de 2009		Promedio		I		II		A = I + II		III		IV		B = III + IV		V	
	Total año		diario															
Aparato locomotor	35260	22,55%	97	111	24,78%	194	5,95%	305	8,22%	2804	10,81%	8794	25,02%	11598	18,98%	22428	29,82%	
Ginecología y obstetricia	15173	9,70%	42	19	4,24%	478	14,65%	497	13,40%	1015	3,91%	1159	3,30%	2174	3,56%	1711	2,28%	
Medicina	44214	28,28%	121	239	53,35%	2138	65,54%	2377	64,07%	16469	63,47%	10950	31,15%	27419	44,87%	13269	17,64%	
No asignado	4130	2,64%	11	5	1,12%	4	0,12%	9	0,24%	143	0,55%	264	0,75%	407	0,67%	1531	2,04%	
Pediatría	46069	29,46%	126	37	8,26%	292	8,95%	329	8,87%	3484	13,43%	10503	29,88%	13987	22,89%	30628	40,73%	
Psiquiatría	3116	1,99%	9	10	2,23%	49	1,50%	59	1,59%	511	1,97%	856	2,44%	1367	2,24%	1628	2,16%	
Quirúrgica	8406	5,38%	23	27	6,03%	107	3,28%	134	3,61%	1523	5,87%	2626	7,47%	4149	6,79%	4008	5,33%	
St	156368	100,00%	428	448	100,00%	3262	100,00%	3710	100,00%	25949	100,00%	35152	100,00%	61101	100,00%	75203	100,00%	
% sobre total año	100%		0%		2%		2%		17%		22%		39%		48%			
% sobre base 140014			0%		2%		3%		19%		25%		44%		54%			

Tomando dichos datos, se ha calculado la distribución de pacientes por tipología (para medicina, no asignado, medicina + no asignado, y el total considerando los 7 grupos de patologías). Es una información que podremos utilizar para identificar el patrón de llegada de pacientes en el simulador.

	I	II	A	III	IV	B	V	Total
Medicina	<b>239</b>	<b>2138</b>	<b>2377</b>	<b>16469</b>	<b>10950</b>	<b>27419</b>	<b>13269</b>	<b>43065</b>
	0,55	4,96	5,52	38,24	25,43	63,67	30,81	100,00
	%	%	%	%	%	%	%	%
No asignado	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>143</b>	<b>264</b>	<b>407</b>	<b>1531</b>	<b>1947</b>
	0,26	0,21	0,46		13,56	20,90	78,63	100,00
	%	%	%	7,34%	%	%	%	%
Medicina + No asignado	<b>244</b>	<b>2142</b>	<b>2386</b>	<b>16612</b>	<b>11214</b>	<b>27826</b>	<b>14800</b>	<b>45012</b>
	0,54	4,76	5,30	36,91	24,91	61,82	32,88	100,00
	%	%	%	%	%	%	%	%
Total	<b>448</b>	<b>3262</b>	<b>3710</b>	<b>25949</b>	<b>35152</b>	<b>61101</b>	<b>75203</b>	<b>140014</b>
	0,32	2,33	2,65	18,53	25,11	43,64	53,71	100,00
	%	%	%	%	%	%	%	%

Los pacientes llegan a ED siguiendo una distribución en forma de "M". Y es posible que la distribución de llegada sea diferente para los diferentes tipos de pacientes. Sería interesante que el simulador leyera la información relativa a la entrada de pacientes de una tabla con datos de llegada (procedentes del sistema Real). En caso de que no sea posible, habría que pensar en alternativas.

Una fórmula podría ser que haya una información global sobre los pacientes que llegan al sistema (total llegada por horas), y que el usuario pueda definir el % que corresponde a cada "tipo".

Cabe tener en cuenta que la actividad diaria de un ED está organizada en 3 turnos:

- I. De 7:20 a 14:20
- II. De 14:20 a 21:20
- III. De 21:20 a 7:20

La Cantidad de personal de cada tipo (admisión, enfermeras de triaje, enfermeras asistenciales, médicos, etc) y su perfil (nivel de experiencia) cambian en dichas franjas

horarias (en la versión anterior consideramos que se mantiene a lo largo de todo el día).

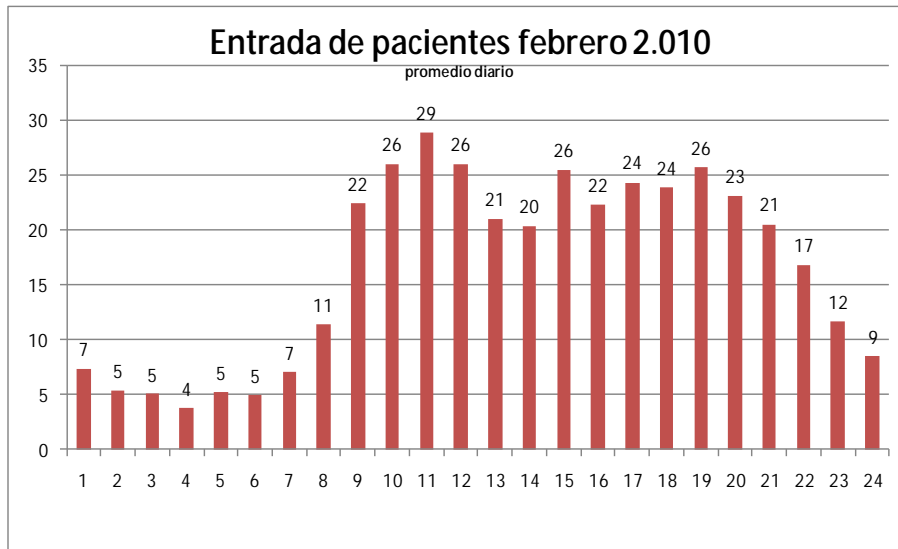


Figura 3. Llegada de pacientes al CSPT durante las 24 horas del día (datos de febrero de 2.010)

La figura 3 muestra la información relativa al promedio de llegada de pacientes cada una de las 24 horas del día, correspondiente al mes de febrero de 2.010.

### ZONA Y PROCESO DE ADMISIÓN

Al llegar el **PACIENTE** al Servicio de Urgencias lo primero que se encuentra es la zona de admisión. En ella están los mostradores desde los que son atendidos por el/la **ADMINISTRATIVO/A** , y en caso de haber pacientes que esperan a pasar el proceso de admisión, también se encontrará la cola de pacientes. El/la **ADMINISTRATIVO/A** llama al primer paciente de la cola en el momento que puede atenderlo.

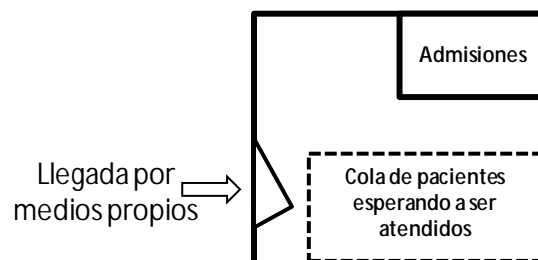


Figura 4. "Layout" zona admisión llegada por medios propios

La información necesaria se recoge a través de sistema informático, y sólo en caso de no disponer o no estar operativo, se hace de forma manual (en este supuesto la información deberá ser introducida en el SI una vez vuelva a estar operativo).

El/la **Administrativo/a** pide al paciente y/o a su acompañante (**Interacción PA – P , PA - Ac**) la tarjeta sanitaria y el motivo de visita al SU. En caso de NO tener la tarjeta, la identificación se hará con el DNI. Si el paciente viniera sin identificar, se tiene que llamar a la policía (Policía Científica) para que recojan huellas digitales. Este proceso puede durar mucho tiempo, por lo si el paciente debe ser atendido con cierta urgencia, se le asigna una “identificación virtual y temporal” (XXXHOMBRE O XXXMUJER) para que pueda continuar las siguientes fases del proceso del SU. Una vez se haya identificado a la persona, se actualizará la información del SI (se sustituye la identificación virtual por la identificación real).

En caso de que llegue un paciente no identificado de un accidente, temporalmente se le identifica como XXXHOMBRE O XXXMUJER, y en el momento que es identificado (normalmente a través de familiares) se actualiza la información.

**Casos en los que el paciente que llegan a SU mediante medios sanitarios:**

El paciente que llega en ambulancia convencional sin asistencia médica previa es evaluado exactamente igual que cualquier otro paciente (debe pasar el proceso de admisión y de triaje). Sólo cuando la ambulancia sea medicalizada (urgencias de máxima prioridad) este proceso es realizado por el médico y pasa directamente a “zona médica”.

**IDEAS RELEVANTES DEL PROCESO DE ADMISIÓN:**

- El número de mostradores de Admisión: en el caso particular del Hospital de Sabadell suele haber de 1 a 3 personas atendiendo de forma simultánea (dependiendo de la franja horaria).
- Una vez se ha completado el proceso de admisión, el paciente abandona la ZONA DE ADMISIÓN y debe esperar en la Sala de Espera a que le llamen para pasar el proceso de TRIAJE.
- El Sistema Informático es un elemento MUY importante durante “todo” el proceso (en todas las fases). Una vez ha sido registrada la llegada del paciente al SU, recoge toda la información sobre el punto en que se encuentra, y su información será tenida en cuenta por el personal del SU para llevar a cabo sus tareas (traje, asignación de Box, pedir y realizar pruebas, etc.). Además sirve sistema de ayuda a la toma de decisiones (asignación de nivel de prioridad, pruebas a aplicar, etc).
- **Conjunto Mínimo Básico de Datos de Urgencias (CMBDU) de filiación y registro** es el detalle de datos de que debe recoger el/la administrativo/a.
- **Existe una lista de los motivos de consulta posibles.**

*(\*) El PAT 3.0 define 32 categorías sintomáticas y 14 subcategorías, que agrupan 575 motivos clínicos de consulta. Cada categoría sintomática*



*incluye una serie de síntomas y síndromes, codificados según CIE-9-MC. (Ver Tr. 20 a 23)*

*El MAT incluye un sistema de control de calidad y de monitorización. Establece unos Indicadores de Calidad (IC), y otras Variables de Actividad Asistencial. (Ver Tr. 25 a 30 del PDF o página 11 de este documento).*

- Durante el proceso de admisión el PA puede interactuar con P, con AC o con ambos.
- Género (hombre; mujer): en opinión del personal del SU la forma en que se comporta el paciente o su acompañante depende del género. Deberíamos analizar si efectivamente es una variable relevante.
- Raza - cultura: también es una variable “relevante” (nacionales, árabes, sudamericanos, mejicanos, chinos,...). Hay culturas en las que la mujer tiene prohibido hablar con otra persona sin permiso del marido.
- En el CSPT y el Hospital de Terrassa (Hospitales grandes), una vez han pasado el proceso de admisión, los pacientes son separados que tienen que ver con la naturaleza de la patología. Las salas de espera, zonas de tratamiento, etc, están en zonas físicamente separadas. Estas zonas son:
  - Medicina (aquí se incluye Nivel I y Nivel II)
  - Aparato locomotor
  - Ginecología y obstetricia
  - Pediatría
  - Psiquiatría
  - Quirúrgica

### **INFORMADOR/A**

Antes de la zona de triaje es posible que haya un mostrador con el/la “informador/a”, cuyo rol principal es informar a paciente y/o acompañantes mientras permanecen en el servicio de urgencias. Se trata de personal administrativo que tiene información puntual sobre dónde está el paciente y sus acompañantes. Es una persona clave que mantiene relación con acompañantes y enfermera de triaje, y que permite contener el estrés de la sala de espera.

### **INTERMEDIARIA/A**

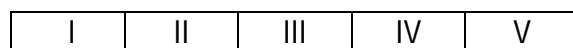
Se trata de un/una enfermero/a que tiene como función básica facilitar el proceso. Es una persona de referencia en el SU para todos los agentes (pacientes, familiares, personal sanitario.... Tiene acceso “preferente” a todo el personal sanitario. Conoce todos los circuitos, conoce del hospital...

## ZONA Y FASE DE TRIAJE

El/La **ENFERMERO/A de TRIAJE (ET)**, desde su BOX (normalmente situado en zona próxima a sala de espera, a la zona de admisión y a la zona de Boxes, y teniendo en cuenta que los BOX de Triage son los mismos tanto para entrada por medios propios que por medios sanitarios) a través de SI tiene acceso a la información sobre el “estado” (si aún no han sido atendidos, o si ya están en asistencia y en que especialidad) de todos los pacientes que han llegado a servicio.

Existen diferentes escalas de triaje (Modelo Canadiense; Modelo Andorrano de Triage-MAT, que es una adaptación del canadiense, etc).

A partir de la información que aparece en pantalla, y con impresos en papel, la ET llama al paciente para realizar valoración. El orden en que son llamados los pacientes dependerá del **motivo de consulta (existe un orden de prioridad)**. La valoración de Triage debe ser realizada un tiempo máximo de 5 minutos, con el objetivo de recoger evidencias sobre los síntomas y signos, que permitan evaluar el **nivel de gravedad y urgencia**, y determinar el nivel de prioridad con el que deberá ser atendido el paciente. Siguiendo el MAT, se distinguen 5 niveles de prioridad:



Nivel de prioridad      mayor                                            menor

Tipología de urgencias (sistema MAT) y el tiempo máximo en que debería haber sido atendido por los médicos de urgencias:

I - Emergencia.

II - Muy urgente.

III - Urgente.

IV - Poco urgente.

V - No urgente.

Cada nivel numérico tiene asignado un color, de manera que la identificación del nivel de urgencia también se pueda hacer de forma visual.

- **I-II:** equivale a **MUY URGENTE**, y supone una atención prácticamente inmediata del paciente.
- **III-V:** se trata de paciente que, una vez triados, son reenviados nuevamente a sala de espera. En función del nivel y de la **patología**, se le asigna un “**tiempo aproximado de atención**”. En caso de que transcurrido dicho tiempo el paciente no haya sido atendido, deberá ser reevaluado por el /la ET, pudiendo cambiar el nivel de urgencia. La información facilitada por el personal del Hospital de Sabadell sobre este aspecto es la siguiente:

Nivel de prioridad	Margen de tiempo en que debe haber sido atendido por médico (a contar desde que ha sido triado)
I	atención inmediata por enfermería y 7' máximo por médico
II	15' máximo por enfermería y 20' máximo por médico
III	Máximo de 45'
IV	Máximo de 120'
V	Máximo de 240'

Indicadores de calidad del Sistema de Triage que afectan a los tiempos de la fase de triaje:




### Indicadores de calidad

**Tabla I. Percentil de cumplimiento**

Nivel	Percentil de cumplimiento <sup>1</sup>	Tiempos de atención/asistencia
I	98%	Inmediato
II	85%	Inmediato enfermería/7 minutos médicos
III	80%	15 minutos
IV	75%	30 minutos
V	70%	40 minutos

<sup>1</sup> Percentil de cumplimiento de un nivel o categoría de triaje. Porcentaje de pacientes dentro de ese nivel de triaje que han de ser atendidos / visitados en el tiempo de atención/asistencia establecido.



### Indicadores de calidad

**Tabla II. Percentil de cumplimiento marginal**

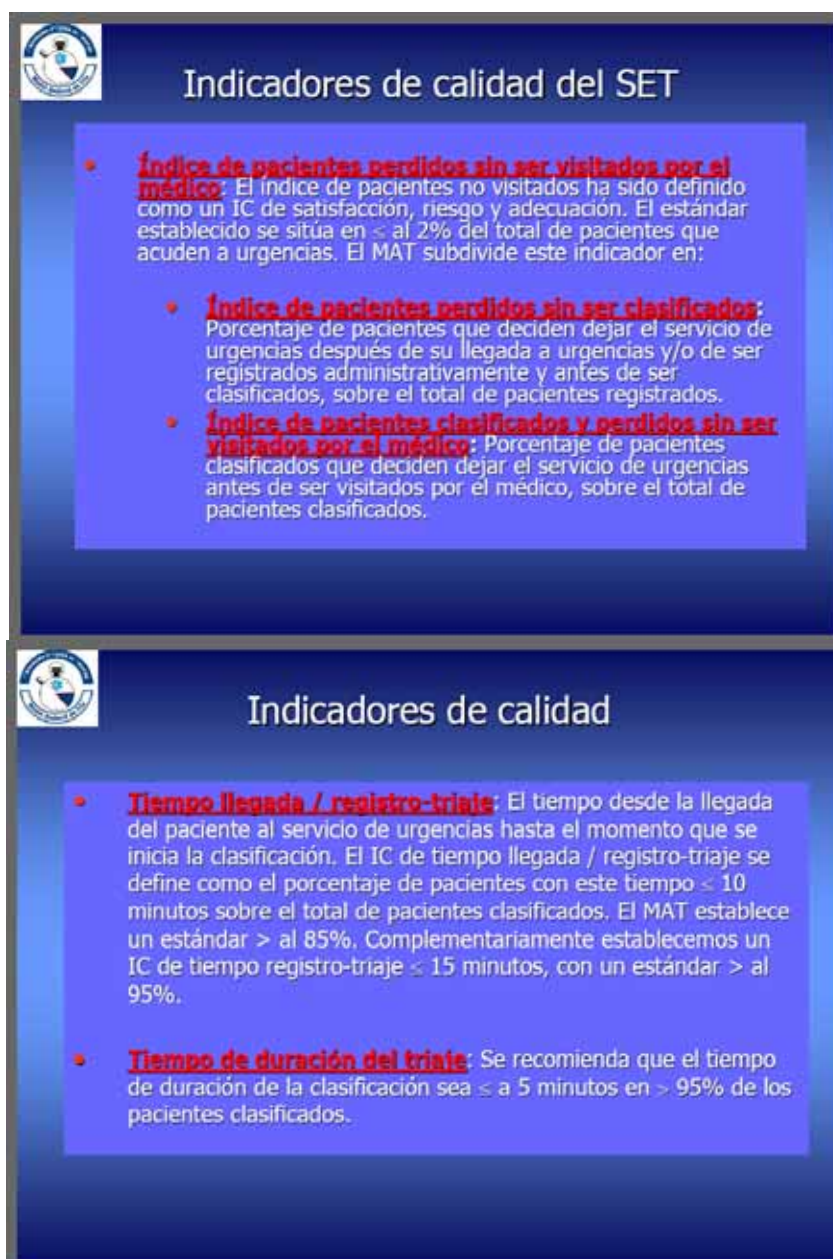
Nivel	Percentil de cumplimiento marginal <sup>1</sup>	Tiempos de atención/asistencia
I	100%	7 minutos
II	95%	7 minutos enfermería/15 minutos médicos
II	100%	15 minutos enfermería/20 minutos médicos
III	85%	20 minutos
III	90%	30 minutos
III	100%	45 minutos
IV	85%	60 minutos
IV	100%	120 minutos
V	80%	120 minutos
V	100%	240 minutos

<sup>1</sup> Percentil de cumplimiento marginal de un nivel o categoría de triaje. Porcentaje de pacientes dentro de ese nivel de triaje que han de ser atendidos / visitados en el tiempo de atención/asistencia establecido a pesar de quedar fuera del percentil de cumplimiento.

El SI facilita a la ET una **lista de comprobación** llamada “**algoritmos de actuación**” (en Hospitales en los que no disponen de SI, se dispone de la información en soporte papel). Después de introducir los valores correspondientes a las diferentes variables a evaluar (el SI va discriminando la información que muestra en función de la información que la ET va introduciendo a lo largo del proceso...en función de la sintomatología). Es el propio SI el que identifica el nivel de prioridad del paciente.

El tiempo máximo en el que se completa el proceso de triado es de 5 minutos. En casos “muy” puntuales puede ocupar más tiempo (la ET del Hospital de Sabadell nos hablaba de algún caso de 20 minutos).

Indicadores de calidad del Sistema de Triaje que afectan a los tiempos de atención en la fase de triaje:




**Indicadores de calidad del SET**

- **Índice de pacientes perdidos sin ser visitados por el médico:** El índice de pacientes no visitados ha sido definido como un IC de satisfacción, riesgo y adecuación. El estándar establecido se sitúa en  $\leq$  al 2% del total de pacientes que acuden a urgencias. El MAT subdivide este indicador en:
  - **Índice de pacientes perdidos sin ser clasificados:** Porcentaje de pacientes que deciden dejar el servicio de urgencias después de su llegada a urgencias y/o de ser registrados administrativamente y antes de ser clasificados, sobre el total de pacientes registrados.
  - **Índice de pacientes clasificados y perdidos sin ser visitados por el médico:** Porcentaje de pacientes clasificados que deciden dejar el servicio de urgencias antes de ser visitados por el médico, sobre el total de pacientes clasificados.

**Indicadores de calidad**

- **Tiempo llegada / registro-triage:** El tiempo desde la llegada del paciente al servicio de urgencias hasta el momento que se inicia la clasificación. El IC de tiempo llegada / registro-triage se define como el porcentaje de pacientes con este tiempo  $\leq$  10 minutos sobre el total de pacientes clasificados. El MAT establece un estándar  $>$  al 85%. Complementariamente establecemos un IC de tiempo registro-triage  $\leq$  15 minutos, con un estándar  $>$  al 95%.
- **Tiempo de duración del triaje:** Se recomienda que el tiempo de duración de la clasificación sea  $\leq$  a 5 minutos en  $>$  95% de los pacientes clasificados.



## Indicadores de calidad

- **Tiempo de espera para ser visitado.** Se establece que al menos un 90% de los pacientes tienen que ser visitados por el equipo médico en  $\leq$  a 2 horas desde su clasificación y el 100% en  $\leq$  a 4 horas.

El tiempo de espera para ser visitado se evalúa por el **percentil de cumplimiento** y el **percentil de cumplimiento marginal**, que son porcentajes de cumplimiento para cada nivel de triaje.

**IMPORTANTE:** en el caso de pacientes con nivel I o II que lleguen al SU a través de ambulancia medicalizada, el proceso de triado puede haberse llevado a cabo en la propia ambulancia. De ser así, en cuanto lleguen al SU serán introducidos a la ZONA MÉDICA.

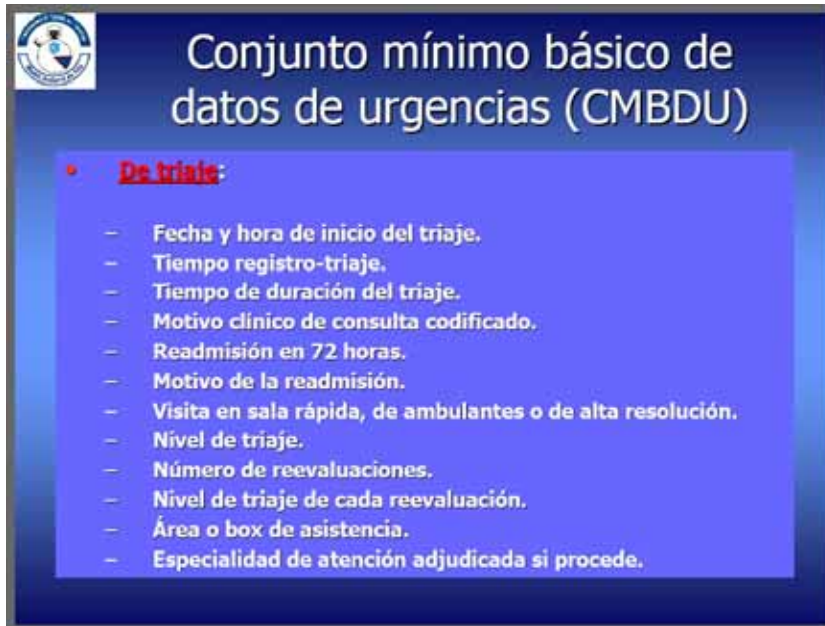
Una vez completado este proceso e identificado el nivel de prioridad con el que debe ser atendido el paciente, éste abandona el BOX de triaje y esperará en la Sala de Espera a ser llamado por personal de ZONA MÉDICA.

Tal y como se ha comentado antes, existen diferentes Salas de Espera en función de la patología del paciente. En concreto:

- Medicina
- Aparato locomotor
- Ginecología y obstetricia
- Pediatría
- Psiquiatría
- Quirúrgica

### OTRAS CONSIDERACIONES

- **Conjunto Mínimo Básico de Datos de Urgencias (CMBDU)** de triaje es el detalle de datos de que debe recoger ET.



- El Modelo de Triaje adoptado por el Servicio de urgencias determinará si es posible que el paciente sea derivado a su médico de cabecera (hay ciertos **motivos de consulta** que pueden ser derivados al médico de cabecera).
- Existe la posibilidad de que temporalmente cambie el número de enfermeras de triaje (en relación al número habitual).
- Cambios de turno entre enfermeras de triaje: se lleva a cabo una comunicación de 2 a 3 minutos de duración entre la enfermera que deja el turno y la que entra, a través de la cual se informa de la situación del servicio.
- El Hospital de Sabadell (CSPT) tiene un triaje específico para pacientes con dolor torácico (2 enfermeras).
- En relación al triaje pediátrico:
  - ✓ Normalmente en Pediatría NO SE TRIA: - salvo en heridas, cortes y golpes; y salvo excepciones puntuales (por ejemplo, en el Servicio de Urgencias de Parc Taulí sí que hay triaje de pediatría).
  - ✓ El servicio de pediatría incluye a pacientes menores de 18 años (en algunos casos 14-15 años). La valoración de estos pacientes se hace directamente en zona de tratamiento, en el momento que son atendidos (la asistencia es más rápida).
  - ✓ En caso de existir se separa (diferencia) del triaje general.
  - ✓ Se quiere establecer una escala específica de triaje pediátrico. De momento se utilizan adaptaciones de la escala general.
  - ✓ En pediatría la edad determina el tiempo de atención: a menor edad mayor será la prioridad.

## ZONA y PROCESO DE ATENCIÓN MÉDICA

---

El paciente es llamado a zona de atención, y atendido por personal sanitario (MÉDICOS, ENFERMERAS, AUXILIARES, CAMILLEROS, etc). Acostumbra a haber una zona de atención y resolución de menor tiempo en la que sólo intervienen enfermeras y médicos (en el caso del CSPT identificado como Nivel I), y otra en la que se prevé que el tiempo de atención y resolución será mayor en la que intervienen enfermeras, médicos, auxiliares de enfermería, camilleros, etc. (en el caso del CSPT identificado como NIVEL II).

En el proceso de tratamiento también pueden ser requeridos los servicios de “**unidades de diagnóstico**”:

- Laboratorios (son propios. Todo Hospital con servicio de urgencias debe disponer de un número y variedad de laboratorios mínimo);
- Radiología.

En el caso del CSPT la comunicación con ellas se hace a través de “tubos pneumáticos” y toda la comunicación se lleva a cabo a través de sistema informático.  
!!

Las pruebas a realizar, y los valores/resultados tipo están protocolizados según la patología de que se trate (Algoritmos).

La organización de los BOXES, así como su número (parte de servicio de urgencias en la que se atiende a pacientes) se distribuyen por especialidades:

- Su número y tipología de especialidades dependerá del histórico del servicio (es decir, de la tipología de dolencias y población asignada como hospital de referencia que haya tratado en el pasado).
- Todas las especialidades tiene asignados unos boxes numerados específicos, aunque por necesidades del servicio (congestión o saturación de determinadas especialidades) se pueden habilitar/usar temporalmente boxes distintos (BOX Virtual, ocupando espacio de pasillos).
- Existen Boxes de uso polivalente, (en el caso del HM sólo existe un box polivalente de Traumatología y Cirugía para procedimientos específicos.) e incluso si falta espacio se pueden usar espacio de pasillos (Boxes virtuales).
- En el HM existe posibilidad de que en franjas horarias concretas se establezca un BOX de atención rápida, similar a la atención de asistencia primaria (lo que en la literatura consultada se identifica como “Fast Track”). Este modelo en el caso del Hospital de Sabadell es equivalente al **Nivel I**

El Servicio tendrá un número total de BOXES (el número puede ser ampliado de un año a otro, pero no dentro del año), de los cuáles algunos serán BOXes REALES (que tienen un espacio físico con camilla o cama para paciente) y otros BOXes VIRTUALES (zonas de los pasillos identificadas y numeradas, que serán habilitadas como BOX en caso de que sea necesario. En dicha zona se incorpora una camilla o silla de ruedas). En función de la demanda que haya (pacientes que hayan acudido al SU), de la franja horaria, etc, es posible que NO se utilicen todos los BOXES (BOX operativo – BOX no operativo). Los Boxes operativos son distribuidos entre las enfermeras que en esa franja horaria haya



en el servicio (salvo que haya un umbral máximo que obligue a que algunos BOXES deban pasar a No operativos).

#### **FASE DE DIAGNÓSTICO-TRATAMIENTO:**

Esta es la fase que mayores cambios experimenta (cambia la dinámica, y debido a ello debemos adaptar los elementos del entorno). Aspectos que hemos identificado a partir de la información recogida a través de las entrevistas mantenidas el 26/10/2.010 y de 24/03/2.011.

**Pacientes de mayor gravedad (pacientes con nivel de prioridad I y II):** en cuanto llegan se les da prioridad máxima. Nada más llegar al SU son triados (salvo que ya se haya hecho en la ambulancia), y son introducidos a la ZONA MÉDICA (hay un Box de Atención de Pacientes críticos siempre reservado). Una vez el paciente ya está siendo atendido en la ZONA MÉDICA, en paralelo su acompañante lleva a cabo el proceso de admisión, y en caso de venir solo, lo lleva a cabo el propio Técnico Sanitario.

La llegada de un paciente de este grupo acostumbra es informada con antelación en caso de llegar a través de medios sanitarios (ambulancia medicalizada). Cuando se identifica un paciente de este tipo es atendido de forma automática por el equipo de enfermeras, y en un máximo de 7 minutos por médicos (la atención de los pacientes de nivel III, IV y V que ya estén en zona médica se “suspende” y se recupera una vez se ha tratado a paciente de mayor prioridad).

#### **Pacientes de menor gravedad (pacientes con nivel de prioridad III, IV y V)**

Los pacientes de este grupo son tratados de forma diferente en función de la “gravedad” que se haya percibido en la fase de Triage. Los de mayor gravedad son tratados en el NIVEL 2, y el resto en el NIVEL 1.

#### NIVEL 1 (menor gravedad)

El Nivel 1 ocupa un área específica dentro de la ZONA MÉDICA. En esta hay los siguientes espacios:

- Box de atención: en el que el médico lleva a cabo las tareas que corresponda con el paciente. El paciente sólo estará en el Box cuando sea llamado por el médico (primera exploración, comunicación del diagnóstico, etc), y/o por la enfermera asistencial (practicar alguna prueba, aplicar tratamiento, etc). Una vez completada la tarea concreta en la que deba estar el paciente, éste abandona el Box y ocupa un lugar en la SALA DE ESPERA o en la SALA DE SILLONES.
- SALA DE SILLONES: es una sala de espera especial. En ella hay pacientes del nivel I, que tienen que estar sometidos a un “proceso” que requiera de una cierta “intimidad” (que no pueda llevarse a cabo en una sala de espera convencional).
- SALA DE ESPERA CONVENCIONAL: en la que el paciente esperará entre “tareas” (una vez ha sido explorado; una vez se la ha practicado la prueba y mientras



espera a resultados; una vez se le ha aplicado tratamiento y debe esperar a que le provoque efectos; etc).

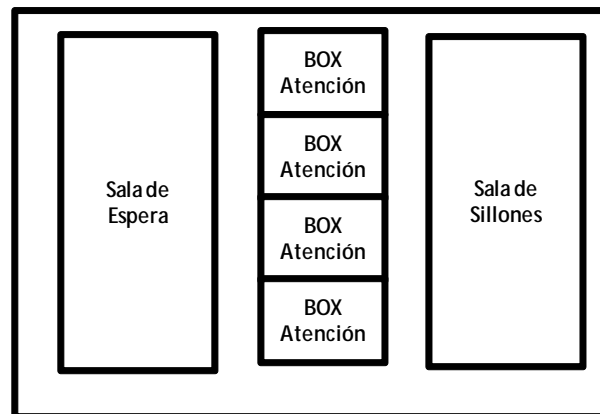


Figura 5. "Layout" Nivel I (Zona Médica)

En este NIVEL el proceso es dirigido por el propio médico desde el Box de Consulta. Una vez el médico tiene disponibilidad, consulta en el SI los pacientes que esperan ser atendidos. Llama al paciente que considera (habrá que tener en cuenta el nivel de prioridad) a través del sistema de megafonía, y le indica que pase al BOX. Llevará a cabo la primera exploración e iniciará todo el proceso que se describe más adelante. En caso de tener que practicar un electro o una analítica, o de tener que aplicar un tratamiento (el SI facilitará esta información), la enfermera llamará al paciente para que entre en el Box y practicará lo que proceda en el mismo. Una vez completada la tarea el paciente regresará a la Sala de Espera.

#### Nivel 2 (mayor gravedad)

El Nivel 2 también ocupa un área específica dentro de la ZONA MÉDICA. En esta hay los siguientes espacios:

- BOXES: en los que el paciente permanecerá durante toda su estancia en la ZONA MÉDICA, salvo que tenga que desplazarse a zona de radiología a que se le practique una prueba de Rayos-X. Hay un número total de Boxes (se diferencia entre Box Real y Box Virtual. Este último es una zona de pasillo que puede ser habilitada como BOX en caso de ser necesario). En el caso del Hospital de Sabadell un Box puede acoger 2 pacientes. Cada BOX estará asignado a una enfermera asistencial (la relación en el caso del Hospital de Sabadell es que cada enfermera puede atender a 4 boxes, es decir, 8 pacientes).
- SALA DE ENFERMERÍA: en la que estarán todas las enfermeras y técnicos sanitarios mientras no estén atendiendo a algún paciente. es una sala de espera especial.
- SALA MÉDICA: en la que estarán los médicos mientras no estén atendiendo algún paciente.

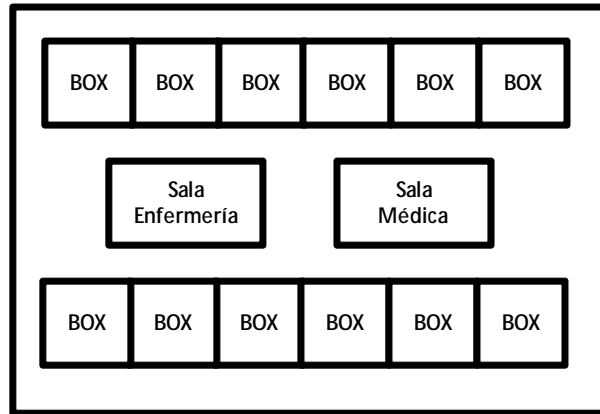


Figura 6. "Layout" Nivel II (Zona Médica)

El SI avisa al médico de que ya puede intervenir (el médico que ve en SI que paciente está allí), y en cuanto esté disponible va a visitar a paciente.

En este NIVEL el proceso es dirigido por la **enferma coordinadora (ubicadora)**. En el momento que el SI informa que hay un BOX libre, llama al paciente a través del sistema de megafonía, indicando el BOX al que tiene que dirigirse. De ser necesario, avisa (a viva voz) a un **Camillero** para que vaya a buscarlo y lo lleve a BOX. A continuación avisa a la **enfermera asistencial** responsable del BOX que ocupa dicho paciente para que realice un primer diagnóstico, tome las constantes y abra la "**HOJA DE ENFERMERÍA**" (ver [anexo 5](#)). Hecho esto la enfermera asistencial regresa a SALA MÉDICA e Introduce la información en el SI.

El SU tiene en el NIVEL I un número determinado de Boxes, pero no tienen porqué ser utilizados todos (puede haber Boxes ociosos); El número de Boxes a asignar a cada enfermera NO es fijo. Dependerá del número de Boxes que se estén utilizando, y del número de enfermeras que haya en el ED en esa franja horaria.

Por el contrario los médicos NO tienen asignado un Box. En el NIVEL II ellos irán al BOX en el que se encuentren los pacientes que estén atendiendo, y en el NIVEL I al BOX de atención que en ese momento haya libre.

El proceso de tratamiento de los niveles 1 y 2 queda recogido en las figuras 7 y 8 respectivamente.

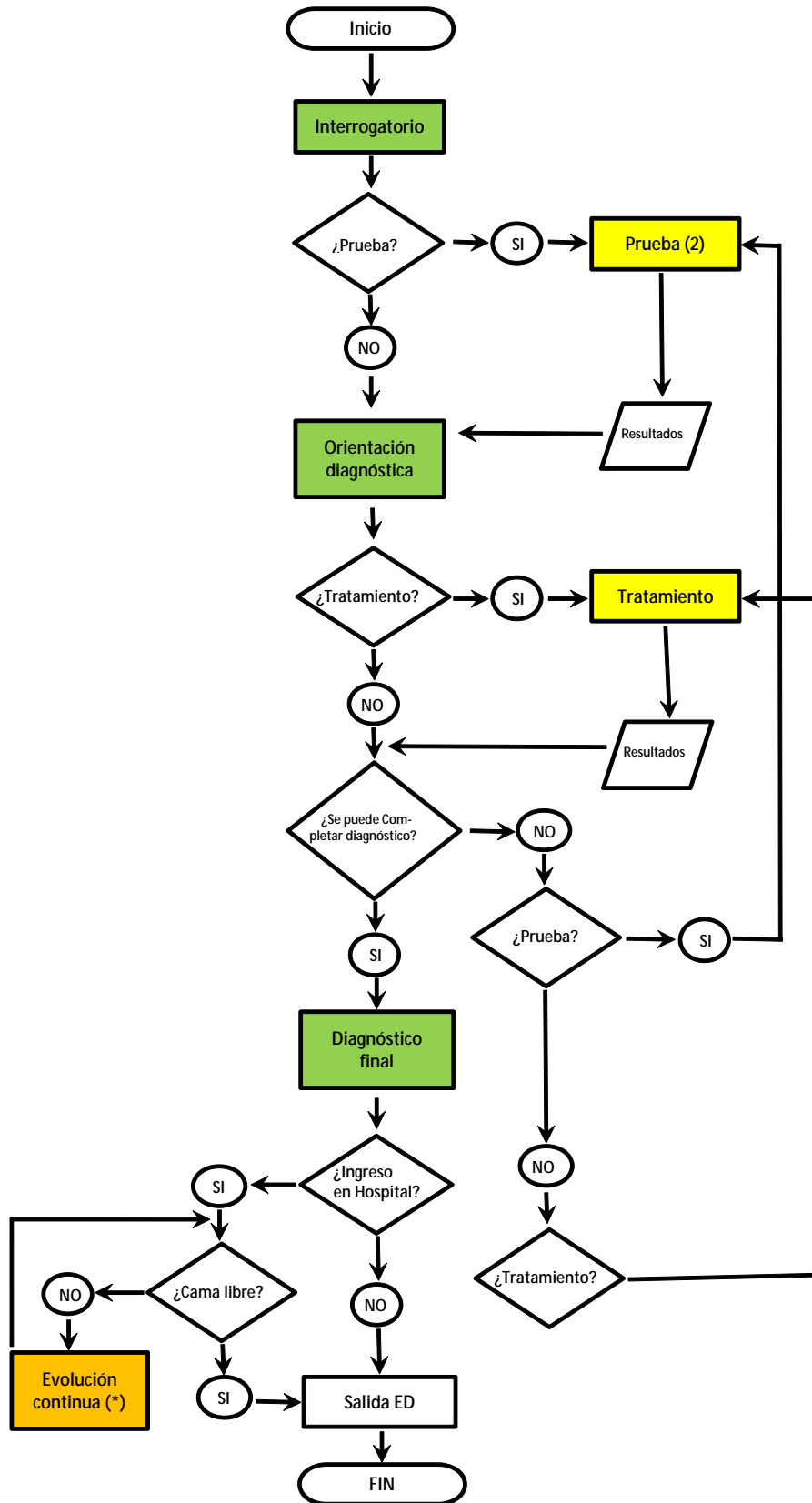


Figura 7. Etapas del proceso de tratamiento Nivel 1 (pacientes 4 y 5)

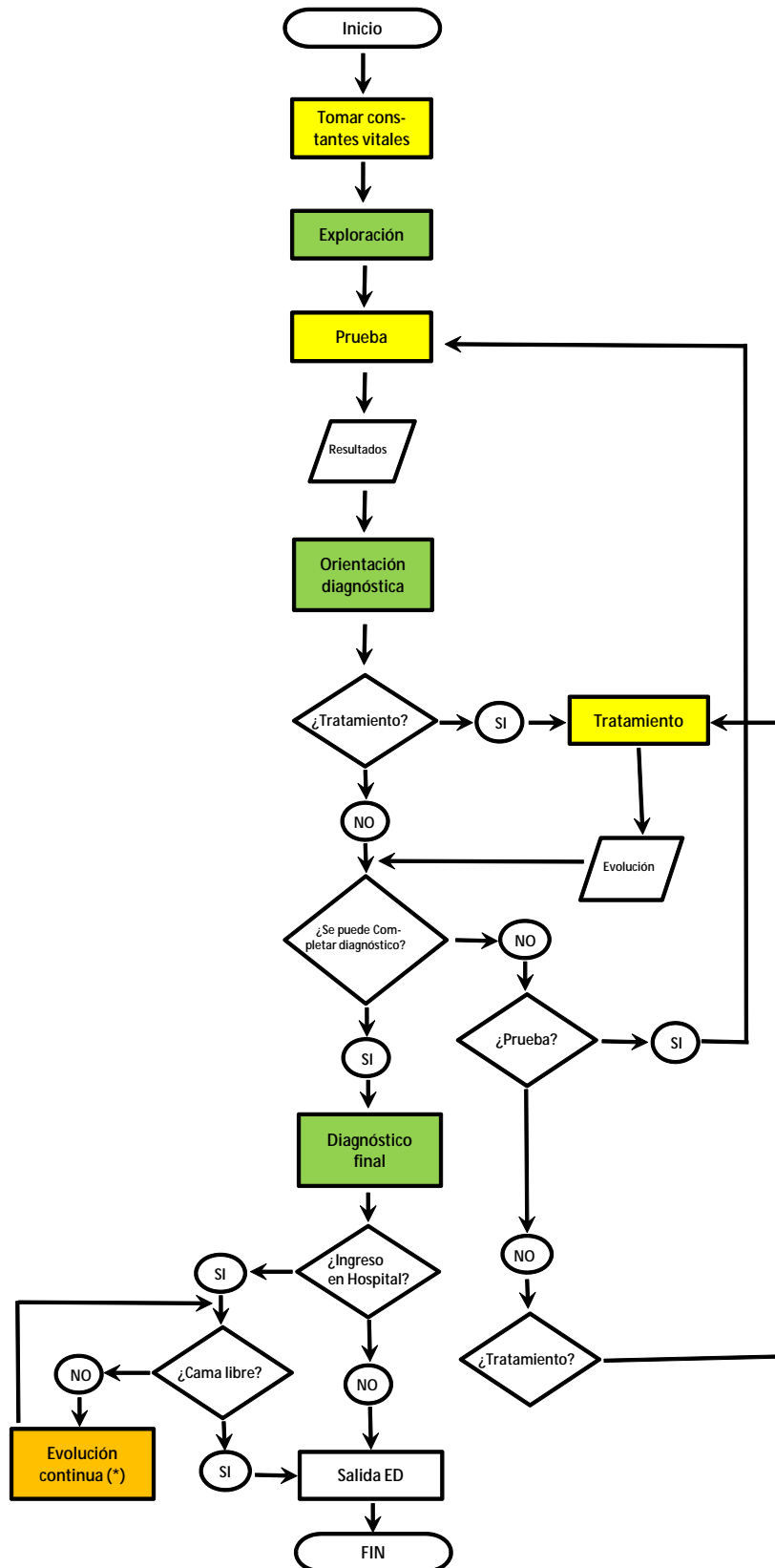





Figura 8. Etapas del proceso de tratamiento Nivel 2 (pacientes 1, 2 y 3)

-  Actividad desarrollada por enfermera
-  Actividad desarrollada por médico
-  (\*) Visita periódica de enfermera / Visita médico (mínimo 1 vez/día)

- (1) Médicos: Residente (80% tiempo atendiendo a pacientes/ 20% interactuando con Adjunto)  
 Adjunto (80% interactuando con Residentes / 20% atendiendo a pacientes)  
 (2) Pruebas: el 99,99% de las pruebas contemplan analítica, electro y/o Radiología (placa de torax)

## EXPLORACIÓN

El médico visita al paciente (en el nivel 1 lo hace en el Box de atención que haya libre, en el Nivel 2 en el box en el que esté el paciente). Obtiene la información que necesita interrogando al paciente (o a su acompañante) y a través de una exploración. La duración de esta etapa dependerá de la experiencia del médico, del tipo de síntomas-patología, de la habilidad de comunicación del paciente y/o acompañantes, etc.

Completado lo anterior el Médico:

- En el NIVEL 2 regresa a zona médica e introduce la información en SI (abre la Historia Clínica – Hoja de valoración médica).
- En el NIVEL 1 pide al paciente que se vaya a la sala de espera, e introduce la información en SI (abre la **HOJA DE VALORACIÓN MÉDICA**).

En caso de ser necesario a través del SI solicita exploraciones complementarias (es lo que hemos identificado como “pruebas”). El número de pruebas será mayor o menor en función de la patología concreta, de la experiencia del médico, etc. Los responsables del SU del Hospital de Sabadell nos confirman que cuanto menor es la experiencia del médico, mayor es el número de pruebas que practicará para recabar toda la información (y en consecuencia mayor será el tiempo que permanecerá el paciente en el SU, y mayor el coste para el SU<sup>18</sup>).

## PRUEBAS

Teniendo en cuenta la información facilitada por el equipo del SU del Hospital de Sabadell, la Tipología de pruebas es:

- A- Exploraciones rutinarias: analítica, radiología simple y electro
- B- Otras exploraciones: radiología más compleja (nos tienen que pasar la cartera de servicios), TAC, ECO, médico contacta con servicio, paciente se debe desplazar al servicio, y tiene el problema de cola del propio servicio. → durante el día se hacen uso del servicio programadas, y hay que buscar huecos para hacer estas exploraciones. LO DEJAMOS PARA MÁS ADELANTE. De lunes a

<sup>18</sup> En la estructura de costes de un SU, es más importante el coste relativo a las pruebas, que el coste relativo al salario del personal. Es decir, aunque el salario del médico de menor experiencia es menor, el coste total acaba siendo mayor pues el número de pruebas que pide es mayor.

viernes (8.00 a 17.00 horas) todo lo que ofrece el hospital, y en la guardia una cartera mínima.

Las 3 pruebas básicas (exploraciones rutinarias) recogen el 99% de las pruebas practicadas. Por este motivo de momento sólo consideraremos estas 3 pruebas.

1. **Analítica:** la enfermera extrae muestra a paciente (en el NIVEL II en el BOX en el que éste se encuentre; en el NIVEL I irá a un BOX de atención que esté libre, llamará al paciente. Una vez extraída la muestra el paciente regresará a la Sala de Espera), la envía al laboratorio por tubo neumático, entra en cola del laboratorio, y cuando le llega el turno es procesada. Una vez se tiene el resultado es enviado al ED a través del SI. Durante todo este proceso el paciente estará en el BOX si se trata de un paciente del NIVEL II, y en caso de pacientes del NIVEL I esperará en la sala de espera o zona de sillones. El SI tiene información a tiempo real del estado de la prueba (solicitada y pendiente de hacer; realizada, enviada, y pendiente de recibir resultados; Resultados recibidos).

Tiene una duración total de 2 horas que incluye el tiempo de realización, de envío de muestras, y de obtención de resultados. Éste será el tiempo a considerar desde que la enfermera practica la prueba, hasta que lleguen los resultados. Habrá que tener en cuenta la cola que se pueda producir en la enfermera (debido a carga de trabajo), así como la del laboratorio en el que analizan las muestras.

***Eventualidades: que el tubo neumático no funcione, que se caiga el Sistema de Información.***

2. **Radiología convencional:** el médico cursa la petición a través del SI, avisa al camillero para que lleve al paciente a zona rayos (en cuanto tenga disponibilidad). Al llegar a la ZONA DE RAYOS-X el paciente se incorporará a la cola (sala de espera). En cuanto llegue su turno será llamado a través del sistema de megafonía para que entre en el BOX de realización de la prueba. En este punto interviene el técnico de rayos, quién se ocupa de la realización de la prueba, y una vez completada el camillero llevará de nuevo al paciente a su BOX de origen.

La duración de esta prueba depende de: la cola que haya en radiología, la cola que se pueda generar por la carga de trabajo de los camilleros, la duración de la realización de la prueba en sí misma, y el tiempo que se necesite para tener resultados una vez la prueba se haya completado. Los resultados son enviados por SI.

La duración total de esta prueba es de 15 minutos (sólo incluye tiempo de realización y envío de resultados). NO incluye los tiempos de desplazamiento (del Box a sala de rayos, de sala de rayos a Box), los tiempos de espera en Sala de Espera de Rayos, ni colas debida a disponibilidad de camilleros.

***Eventualidades: que el sistema de radiología se caiga, que se caiga el Sistema de Información.***

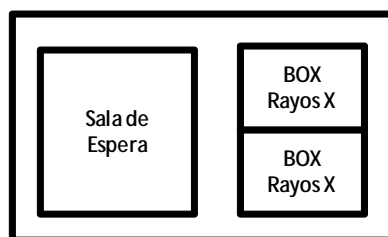


Figura 9. "Layout" zona de Rayos X

3. **Electrocardiograma:** lo lleva a cabo la enfermera. Se desplaza para coger el aparato, lo lleva al Box en el que se encuentre el paciente (en el NIVEL I irá a un BOX de atención que esté libre, llamará al paciente. Una vez completado el electro el paciente regresará a la Sala de Espera), realizará la prueba, deja los resultados (soporte papel) en el expediente del paciente (en el NIVEL II está junto a su cama), y devuelve el aparato al almacén. La duración del proceso depende de: la cola que se pueda generar por la carga de trabajo de las enfermeras, y la disponibilidad (colas) de aparatos.

La duración total de la prueba es de 15 minutos (sólo incluye tiempo de realización). No incluye los tiempos de espera asociados a que haya o no disponibilidad de electros, y los asociados a la disponibilidad de la enfermera.

#### **TRATAMIENTO** (Plan terapéutico)

Es la siguiente etapa del proceso. Se practica (en caso de que el médico así lo determine) después de la exploración si no hay que practicar pruebas, o después de la pruebas si el médico ha prescrito que éstas se tienen que hacer.

El médico escribe en papel los medicamentos a aplicar (Hoja de ORDEN MÉDICA), la frecuencia, las cantidades a aplicar, y entrega el documento a la enfermera para que lo aplique. La enfermera lo incorpora al expediente del paciente (apartado de MEDICACIÓN) y a su cola de tareas pendientes, para que en cuanto tenga que hacerse, lo aplique. En el momento que tenga que ser aplicada una medicación, la enfermera lee la información, la interpreta, va a buscar los medicamentos a la zona de FARMACIA y: a) Pacientes de NIVEL II: irá al BOX en el que se encuentra el paciente, aplica el tratamiento, y registra que ha sido aplicado; b) Pacientes de NIVEL I: irá a un BOX de atención que esté libre, llamará al paciente. Una vez aplicada la medicación pedirá al paciente que regrese a la Sala de Espera.

#### **EVOLUCIÓN DEL TRATAMIENTO**

Una vez aplicado el tratamiento, deberá pasar un lapso de tiempo para que provoque efectos y el paciente evolucione. El SI controla el tiempo transcurrido.

## DIAGNÓSTICO FINAL

Durante la fase de exploración es posible que necesite el soporte de otros especialistas (p.e. cirujano, )....Interconsulta. Por tanto el proceso se puede alargar en la medida que los otros profesionales tengas colas.

En caso de que los resultados no permitan hacer el diagnóstico final, el médico puede solicitar nuevas pruebas, y/o aplicar nuevos tratamientos.

Una vez todo el proceso se ha completado (exploración, diagnóstico, aplicación de tratamiento, y se ha determinado la patología), la salida del SU se puede dar siguiendo las alternativas:

- a) Que el paciente tenga que ingresar en el hospital: el médico informa al SI que el paciente debe ser ingresado. En caso de no haber camas disponibles el paciente deberá ser trasladado a ZONA DE PREINGRESO para así liberar el BOX. Facilita las instrucciones de tratamiento a aplicar hasta que se haga el ingreso. El paciente es atendido por las enfermeras de ZONA DE PRE-INGRESO, y puntualmente por el médico, hasta que haya disponibilidad de camas y pueda ser ingresado en el hospital. En el caso particular del SU del Hospital de Sabadell, el 10% de los pacientes tratados en el SU deben ser ingresados (el porcentaje varía en función del tipo de patología).

	Datos a diciembre de 2009		Promedio diario	Ingresos en %	% Ingresos por tipología pacientes				
	Total año				I	II	III	IV	V
Aparato locomotor	35260	22,55%	97	3,65	46,85	25,77	15,87	5,36	0,95
Ginecología y obstetricia	15173	9,70%	42	20,06	63,16	48,12	24,63	7,42	3,27
Medicina	44214	28,28%	121	9,67	38,49	24,26	14,49	6	2,22
No asignado	4130	2,64%	11						
Pediatría	46069	29,46%	126	2,20	45,95	25	11,65	2,94	0,58
Psiquiatría	3116	1,99%	9	19,03	20	30,61	28,96	19,16	14,74
Quirúrgica	8406	5,38%	23	19,16	44,44	48,6	39,59	20,14	9,88
Total	156368	100,00%	428	7,56	41,74	28,91	16,34	6,3	1,83

Hecho el registro inicial en el SI, el médico informará al paciente del diagnóstico y de que tiene que ser ingresado. En el NIVEL II en el BOX en el que esté el paciente, mientras que en el NIVEL I irá a un BOX de atención que esté libre, llamará al paciente y le facilitará la información. Hecho esto el paciente regresará a la Sala de Espera.

- b) El paciente debe ser dado de Alta: El médico informa al SI de que debe ser dado de alta. En caso de ser necesaria ambulancia cursará la petición del servicio a través del SI. El paciente deberá esperar (en sala de espera) hasta que haya ambulancias disponibles. Mientras espera estará ocupando espacio, y deberá ser controlado periódicamente por la enfermera. En el caso particular del SU



del Hospital de Sabadell, el 90% de los pacientes tratados en el SU son dados de alta.

Hecho el registro inicial en el SI, el médico informará al paciente del diagnóstico y de que es dado de alta. En el NIVEL II en el BOX en el que esté el paciente, mientras que en el NIVEL I irá a un BOX de atención que esté libre, llamará al paciente y le facilitará la información. Hecho esto el paciente regresará a la Sala de Espera.

Las variables que influyen sobre la duración de todo el proceso (y en consecuencia en el tiempo de estancia del paciente en el SU) son:

- Experiencia del médico: el tiempo necesario para completar las tareas será menor cuanto mayor sea la experiencia del médico. Además un médico de mayor experiencia puede considerar que ciertas pruebas NO son necesarias. Es decir, que deberemos asociar la probabilidad de que la prueba se haga o no al nivel de experiencia del médico (mayor probabilidad a menor experiencia). Los niveles de experiencia de los médicos de urgencias son:
  - ✓ R< : Residente con una experiencia inferior o igual a 3 años.
  - ✓ R> : Residente con una experiencia superior a 3 años, e inferior o igual a 5.
  - ✓ Adjunto Jr: experiencia superior a 5 años e igual o inferior a 10.
  - ✓ Adjunto Sr: experiencia superior a 10 años e igual o inferior a 15.
  - ✓ Adjunto Consultor: experiencia superior a 15 años.
- Que se tenga que repetir o no una prueba. Deberemos recoger el % de probabilidad de que se tenga que repetir la prueba debido a que los resultados no sean correctos (un 0% significa que no se tiene que repetir). No se puede establecer ninguna correlación entre la repetición de una prueba y el tipo de prueba en si mismo o el tipo de patología.
- Que una vez completado el proceso (evolución del tratamiento), haya que volver a realizar una de las etapas anteriores: hacer una prueba; repetir tratamiento; etc.

Se dispone de detalle de información (tiempos medios de atención, y % de ingresos en CSPT por tipología de pacientes, correspondientes a año 2.009) en documento EXCEL:

	Datos a diciembre de 2009		Promedio		Ingresos en %	I		II		III		IV		V	
	Total año		diario	en horas		Tmedio	Ingresos	Tmedio	Ingresos	Tmedio	Ingresos	Tmedio	Ingresos	Tmedio	Ingresos
Aparato locomotor	35260	22,55%	97	2,67	3,65	10,77	46,85	7,87	25,77	5,83	15,87	3,35	5,36	1,88	0,95
Ginecología y obstetricia	15173	9,70%	42	2,08	20,06	4,81	63,16	3,94	48,12	2,97	24,63	2,13	7,42	1,71	3,27
Medicina	44214	28,28%	121	16,20	9,67	26,61	38,49	32,81	24,26	24,96	14,49	10,76	6	5,87	2,22
No asignado	4130	2,64%	11	6,13											
Pediatría	46069	29,46%	126	2,14	2,20	10,05	45,95	7,94	25	5,1	11,65	2,58	2,94	1,57	0,58
Psiquiatría	3116	1,99%	9	6,02	19,03	12,24	20	19,7	30,61	9,87	28,96	6,19	19,16	4,24	14,74
Quirúrgica	8406	5,38%	23	12,51	19,16	17,68	44,44	27,15	48,6	22,6	39,59	13,33	20,14	7,65	9,88
Total	156368	100,00%	428	6,97	7,56	19,27	41,74	24,46	28,91	18,87	16,34	6,3	6,3	2,91	1,83

### Otras particularidades del CSPT:

#### Dotación de médicos, enfermeras y camas por niveles. CSPT.

	Camas	Camilleros	Auxiliares	Enfermeras	Médicos
Nivel 1	18	1 1 M,1T,1N	1 1 M,1T,1N	1 1 M,1T,1N	1 R < R Pequeño 1M,1T,1N  2 ADJUNTOS: 2M,2T, 1N 3 R < R Pequeño
Nivel 2	47	2 2 M,2T,2N	2 2 M,2T,2N	6 6 M,6T,6N	2 R > R Grande 2M,2T,2N  2-3 ADJUNTOS: 3M,2T,2N (*) 2-3
USU	20		2 2 M,2T,2N	2 2 M,2T,2N	ADJUNTOS: 2-3M,0T,0N
Evolución corta	11	1 1 M,1T,1N	Compartido con nivel 1	1 1 M,1T,1N	2 ADJUNTOS 1 RESIDENTE. (son los cirujanos de guardia)
Pre-ingreso	10	1 1 M,1T,1N	Compartido con nivel 2	1 1 M,1T,1N	--
Pediatría	15	1-2 1 M,2T,1N	Compartido con nivel 2	2-3 3 M,3T,2N	2 ADJUNTOS 1 RESIDENTE.
Traumatología	14	1 1 M,1T,1N		2 2 M,2T,2N	3 ADJUNTOS 1 RESIDENTE.

(\*) FINES DE SEMANA Y FESTIVOS SOLO DOS ADJUNTOS MAÑANA TARDE Y NOCHE.  
A PARTIR DE LAS 20 HS LOS ADJUNTOS TAMBIEN SE OCUPAN DE LAS URGENCIAS INTERNAS DE PLANTA.

- Atienden a una media de 432 pacientes/día, con tasa de ingreso en Hospital de un 10%.
- Dispone de una zona de enfermos monitorizados. Se trata de 5 boxes que, sin llegar a ser una UCI, disponen de un servicio de enfermería más dedicada.
- Dispone de ZONA DE RADIOLOGÍA para hacer pruebas simples (placas).
- También tiene quirófanos: son utilizados habitualmente para optimizar su uso. Pero en caso de intervención de urgencia entonces se reasignan los espacios disponibles.
- Tienen un almacén propio gestionado por el servicio de Farmacia Hospitalaria (responsable de gestionar el suministro de todo el Hospital y también el del S.U.).
- El área de psiquiatría cuenta con 2 Boxes y 1 Consultorio
- Disponen de 30 médicos de urgencias (pueden hacer de todo), y los médicos especialistas son suministrados a través de las Especialidades del Hospital. Pueden estar o no en SU, pero deben garantizar que en caso de

requerir su atención deben ofrecerla en un máximo de 10 minutos de demora.

- Tiene una ZONA DE PEDIATRÍA (con organización semejante al resto). Los niños graves “nunca” se juntan con los niños con urgencias leves. Esta ZONA está equipada con 4 consultorios, una zona enfermería, zona de triaje, sala de espera, sala observatorio.
- Unidad de Soporte de Urgencias (USU): se trata de una sala con 20 camas (en otros hospitales acostumbra a ser de 10), en la que se prevé una estancia máxima en el S.U. de 96 horas.
- Zona de Traumatología (organización semejante al resto). Equipada con consultorios, Boxes, sala de espera, sala de yesos, y sala de rayos (2 aparatos) de uso exclusivo para esa zona.
- Zona de pre ingreso, con 24 camas pacientes en espera de asignación de cama en Hospital).
- Sistema de rotación de personal (turnos), el personal sanitario pasa por todas las zonas.
- El SU del Hospital de Sabadell deciden sobre la cantidad de recursos (humanos, técnicos, etc; decisiones de renovación, ampliación) una vez al año, conjuntamente con Gerencia.
- Las decisiones sobre distribución de los recursos asignados son autónomas (p.e. ampliar temporalmente el nº de enfermeras de triaje)
- Tienen sistema de sustitución (canguros) para cubrir bajas.

## Anexo 2

Tablas de transiciones de estado de los diferentes agentes que incluye el modelo

## Anexo 2

### Tablas de Transición de Estado

#### Personal de Admisión

##### Admission Staff

##### State Variables Possible Values

Name/Identifier Name "X"

Location Admission desk "1", Admission desk "2", Admission desk "3"...

Action Idle, Asking patient for approaching to Admission Desk, Requesting to Patient for Health Card, Receiving information and introducing it into IS, Asking to patient for Personal Information, Asking to patient for Reassons of visiting ED, Asking patient for going to WR 1

Level of experience low, medium, High

State (t)	Input	State (t+1)	name/identifier	Location	Action	Level of experience
S0	No P in Que <i>s0</i> A new P arrives	S0 S1	name x name x	AD "X" AD "X"	Idle Asking patient for approaching to Admission Desk	Low, medium, High Low, medium, High
S1	P doesn't approach to AD <i>s1</i> P approaches to AD	S1 S2	name x name x	AD "X" AD "X"	Asking patient for approaching to Admission Desk Requesting to Patient for Health Card	Low, medium, High Low, medium, High
S2	P doesn't give Health Card <i>s2</i> P gives Health Card <i>s2</i> P doesn't have Health Card	S2 S5 S3	name x name x name x	AD "X" AD "X" AD "X"	Requesting to Patient for Health Card Receiving information and introducing it into IS Asking to patient for Personal Information	Low, medium, High Low, medium, High Low, medium, High
S3	P doesn't give Personal Information <i>s3</i> P gives Personal Information	S3 S4	name x name x	AD "X" AD "X"	Asking to patient for Personal Information Receiving information and introducing it into IS	Low, medium, High Low, medium, High
S4	Message from IS: further personal information is required <i>s4</i> Message from IS: no further personal information is required	S3 S5	name x name x	AD "X" AD "X"	Asking to patient for Personal Information Asking to patient for Reassons of visiting ED	Low, medium, High Low, medium, High
S5	P doesn't give reassons of visiting to ED <i>s5</i> P gives reassons of visiting to ED	S5 S6	name x name x	AD "X" AD "X"	Asking to patient for Reassons of visiting ED Receiving information and introducing it into IS	Low, medium, High Low, medium, High
S6	Message from IS: further information is required <i>s6</i> Message from IS: no further information is required	S5 S7	name x name x	AD "X" AD "X"	Asking to patient for Reassons of visiting ED Asking patient for going to WR 1	Low, medium, High Low, medium, High
S7	P doesn't leave the AD <i>s7</i> Patient leaves the AD	S7 S0	name x name x	AD "X" AD "X"	Asking patient for going to WR 1 Idle	Low, medium, High Low, medium, High

Admission Desk AD

## Enfermera de Triage

Triage Nurse

State Variables

Name/Identifier

Location

Action

Level of experience

Possible Values

Name "X"

Triage BOX "1", Triage BOX "2", Triage BOX "3"...

Idle, Asking patient for approaching to TB "X", Requesting patient for information, Receiving information and introducing it into IS, Asking patient for going to WR 2

Low, medium, High

State (t)	Input	State (t+1)	name/identifier	Location	Action	Level of experience
So: In TB requesting IS for information (general)	No P in WR 1	So	name x	TB "X"	Idle	Low, medium, High
<i>So: In SR requesting IS for information (general)</i>	SI informs that there are P in WR	S1	name x	TB "X"	Asking patient for approaching to TB "X"	Low, medium, High
S1	After a period of time, no P enters to TB "X"	S1	name x	TB "X"	Asking patient for approaching to TB "X"	Low, medium, High
	<i>s1</i> After a period of time, P enters to TB "X"	S2	name x	TB "X"	Requesting patient for information	Low, medium, High
S2	P doesn't give Information requested	S2	name x	TB "X"	Requesting patient for information	Low, medium, High
	<i>s2</i> P gives Information requested	S3	name x	TB "X"	Receiving information and introducing it into IS	Low, medium, High
S3	Message from IS: further personal information is required	S2	name x	TB "X"	Requesting patient for information	Low, medium, High
	<i>s3</i> Message from IS: no further information is required	S4	name x	TB "X"	Asking patient for going to WR 2	Low, medium, High
S4	Patient leaves the TB	So	name x	TB "X"	Idle	Low, medium, High

Admission Desk AD

Triage Box TB

## Médicos Nivel 1

### Doctor

#### State Variables

Name/Identifier

Location

Action

Level of experience

#### Possible Values

Name "X"

Treatment BOX "X"

Idle, Asking P "Z" for approaching to TrB "X" (for exploring phase; test results; final diagnostic), Waiting for arrival of Patient, Requesting patient for information, Making diagnostic: giving information to Patient (next steps: Leave ED or go back WR), Introducing information into IS (Test has to be done; Ordering Test P "X" & Waiting for arrival of test results ; Patient has to leave ED; Ordering Treatment P "X" & Waiting for results; Making final diagnostic & Introducing Information into SI), Requesting IS for information (general)

low, medium, High

State (t)	Input	State (t+1)	Location	Action
So: In SR requesting IS for information (general)	No news	So	TrB "X"	Idle
<i>So: In SR requesting IS for information (general)</i>	SI informs that there are P in WR	S1	TrB "X"	Asking P "Z" for approaching to TrB "X" (for exploring phase)
<i>So: In SR requesting IS for information (general)</i>	SI informs that Results of Patient "Z" have arrived	S1	TrB "X"	Asking P "Z" for approaching to TrB "X" (test results)
<i>So: In SR requesting IS for information (general)</i>	SI informs that Treatment Time of P "Y" has expired	S1	TrB "X"	Asking P "Z" for approaching to TrB "X" (final diagnostic)
S1	No patient enter to TrB "X" (after first call)	S1	TrB "X"	Waiting for arrival of Patient
<i>s1</i>	Patient enter to TrB "X" (for exploring phase)	S2	TrB "X"	Requesting patient for information
<i>s1</i>	Patient enters to TrB "X" (for reporting test results)	S5	TrB "X"	Test results
<i>s1</i>	Patient enters to TrB "X" (for final diagnostic)	S7	TrB "X"	Treatment results
S2	Additional information has to be given	S2	TrB "X"	Requesting patient for information
	No further information is required	S3	TrB "X"	Making diagnostic: giving information to Patient (next steps: Leave ED or go back WR)
S3	Patient "Z" leaves the TrB "X"	S4	TrB "X"	Introducing information into IS: Test has to be done
S4	Introducing information into IS: Test are required for P "X"	S5	TrB "X"	Ordering Test P "X" & Waiting for arrival of test results
<i>s4</i>	Introducing information into IS: Test are not required P "X"	S5	TrB "X"	Patient has to leave ED
<i>s4</i>	Introducing information into IS: Treatment has to be applied	S5	TrB "X"	Ordering Treatment P "X" & Waiting for results
<i>s4</i>	Introducing information into IS: Treatment hasn't to be applied	S5	TrB "X"	Making final diagnostic & Introducing Information into SI
S5	Introduction of informacion has been completed	So	TrB "X"	Requesting IS for information (general)

## Médicos Nivel 2 (1 de 2)

Doctor	
State Variables	Possible Values
Name/Identifier	Name "X"
Location	Moving, Treatment BOX "X", Medical/Staff Room,
Action	Idle, Requesting IS for information about P in WR, Requesting IS for information (general) , Asking P "Z" for approaching to TrB "X", Moving from SR to TrB "X" (for first exploration), Waiting for arrival of Patient, Requesting patient for information, Receiving information and taking notes, Exploring Patient, Giving information to P, Moving from TrB "X" to SR, Introducing information into IS: results exploration P "X", Ordering Test P "X" & Waiting for arrival of test results , Analyzing if treatment has to be applied, Ordering Treatment P "X" & Waiting for results, Making final diagnostic & Introducing Information into SI, Moving from SR to TrB "X" (after diagnostic), Making diagnostic: giving information to Patient (next steps)
Level of experience	low, medium, High

State (t)	Input	State (t+1)	name/identifier	Location	Action	Level of experience
So: In SR requesting IS for information (general)	No news	S0	name x	SR	Idle	Low, medium, High
<i>So: In SR requesting IS for information (general)</i>	SI informs that there is a Box free	S1	name x	SR	Requesting IS for information about P in WR	Low, medium, High
<i>So: In SR requesting IS for information (general)</i>	SI informs that Results of Patient "Z" have arrived	S12	name x	SR	Analyzing if treatment has to be applied	Low, medium, High
<i>So: In SR requesting IS for information (general)</i>	SI informs that Treatment Time of P "Y" has expired	S14	name x	SR	Making final diagnostic & Introducing Information into SI	Low, medium, High
<i>So: In SR requesting IS for information (general)</i>	P type "A" arrives to ED / a P in Treatment evolves to worst	S3	name x	Moving	Moving from SR to TrB "X" (for first exploration P type A)	Low, medium, High
S1	There are P in WR	S2	name x	SR	Asking P "Z" for approaching to TrB "X"	Low, medium, High
S2	Movement from SR to TrB "X" (first visit)	S3	name x	Moving	Moving from SR to TrB "X" (for first exploration)	Low, medium, High
	<i>s2</i> Movement from SR to TrB "X" (for doing diagnostic)	S3	name x	TrB "X"	Moving from SR to TrB "X" (after diagnostic)	Low, medium, High
S3	There is no P in TrB "X" (after first call)	S4	name x	TrB "X"	Waiting for arrival of Patient	Low, medium, High
	<i>s3</i> Patient is in TrB "X" (after first call)	S5	name x	TrB "X"	Requesting patient for information	Low, medium, High
	<i>s3</i> There is no P in TrB "X" (after diagnostic)	S4	name x	TrB "X"	Waiting for arrival of Patient	Low, medium, High
	<i>s3</i> Arrival P type A / is in TrB "X"	S5	name x	TrB "X"	Requesting patient for information	Low, medium, High
	<i>s3</i> Patient is in TrB "X" (after diagnostic)	S15	name x	TrB "X"	Making diagnostic: giving information to Patient (next steps)	Low, medium, High
S4	Patient enters to TrB "X" (after first call)	S5	name x	TrB "X"	Requesting patient for information	Low, medium, High
	<i>s4</i> Patient enters to TrB "X" (after diagnostic)	S16	name x	TrB "X"	Making diagnostic: giving information to Patient (next steps)	Low, medium, High
S5	Patient gives Information requested	S6	name x	TrB "X"	Receiving information and taking notes	Low, medium, High
S6	Further information is required	S5	name x	TrB "X"	Requesting patient for information	Low, medium, High
	<i>s6</i> No further information is required	S7	name x	TrB "X"	Exploring Patient	Low, medium, High
S7	Further exploration is required	S7	name x	TrB "X"	Exploring Patient	Low, medium, High
	<i>s7</i> No further exploration is required	S8	name x	TrB "X"	Giving information to P	Low, medium, High
S8	Additional information has to be given (after exploration)	S8	name x	TrB "X"	Giving information to P	Low, medium, High
	<i>s8</i> All the information has been given (after exploration)	S9	name x	Moving	Moving from TrB "X" to SR	Low, medium, High



## Médicos Nivel 2 (2 de 2)

S9	Arrival to the SR (after exploration P "X") <i>s9</i> Arrival to the SR (after diagnostic P "X")	S10	name x	SR	Introducing information into IS: results exploration P "X"	Low, medium, High
		So	name x	SR	So: In SR requesting IS for information (general)	Low, medium, High
S10	Test are required for P "X" <i>s10</i> Test are not required P "X" <i>s10</i> Requesting IS for information (general)	S11	name x	SR	Ordering Test P "X" & Waiting for arrival of test results	Low, medium, High
		S12	name x	SR	Analyzing if treatment has to be applied	Low, medium, High
		So	name x	SR	So: In SR requesting IS for information (general)	Low, medium, High
S11	SI informs that order hasn't been done properly <i>s11</i> SI informs that order has been done properly	S11	name x	SR	Ordering Test P "X" & Waiting for arrival of test results	Low, medium, High
		So	name x	SR	Requesting IS for information (general)	Low, medium, High
S12	Treatment has to be applied <i>s12</i> Treatment hasn't to be applied	S13	name x	SR	Ordering Treatment P "X" & Waiting for results	Low, medium, High
		S14	name x	SR	Making final diagnostic & Introducing Information into SI	Low, medium, High
S13	SI informs that order hasn't been done properly <i>s13</i> SI informs that order has been done properly	S13	name x	SR	Ordering Treatment P "X" & Waiting for results	Low, medium, High
		So	name x	SR	Requesting IS for information (general)	Low, medium, High
S14	Movement from SR to TrB "X" (after diagnostic)	S3	name x	TrB "X"	Moving from SR to TrB "X" (after diagnostic)	Low, medium, High
S15	Additional information has to be given <i>s15</i> All the information has been given	S15	name x	TrB "X"	Making diagnostic: giving information to Patient (next steps)	Low, medium, High
		S9	name x	Moving	Moving from TrB "X" to SR	Low, medium, High
S9	Arrival to the SR	So	name x	SR	So: In SR requesting IS for information (general)	Low, medium, High

Staff Room SR

Treatment Box TrB

## Enfermera Asistencial Nivel 1

### Assistential Nurse

#### State Variables

Name/Identifier

Location

Action

#### Possible Values

Name "X"

Moving, Triage Box "X", Store, Elec Store, Pharmacy, Medical/Staff Room,

Idle, Asking if the Electro Machine is available, Giving drugs to P, Giving information to P, Going to get drugs for Treatment, Going to get material for Testing, Helping P to finish task and leave the TrB "X",

Introducing information into IS: electro has been done, Introducing information into IS: P "X" has passed control, Introducing information into IS: P "X" has to be attended by D,

Introducing information into IS: samples has been sent, Introducing information into IS: treatment has been applied, Leaving results & coming back to SR, Looking for material for Testing, Moving from SR to the Pharmacy,

Moving from SR to the Store of Electro Machines, Moving from SR to TrB "X", Moving from SR to TrB "X" to practice control of P, Moving from Store to TrB "X", Moving from TrB "X" to SR, Performing analytics, Performing Electro,

Preparing TrB "X" for next P, Requesting IS for information (general), Sending samples P "X" to Labs, Taking the drugs, Taking the Electro Machine, Taking vital signals to P

Level of experience

None, low, medium, High

State (t)	Input	State (t+1)	name/identifier	Location	Action	Level of experience
So: In SR requesting IS for information (general)	No news	S0	name x	SR	Idle	Low, medium, High
<i>So: In SR requesting IS for information (general)</i>	IS informs Analytics has to be done to P "X" in TrB "Z"	S1	name x	Moving	Going to get material for Testing	Low, medium, High
<i>So: In SR requesting IS for information (general)</i>	IS informs Electro has to be done to P "X" in TrB "Z"	S11	name x	SR	Asking if the Electro Machine is available	Low, medium, High
<i>So: In SR requesting IS for information (general)</i>	IS informs Treatment has to be applied to P "X" in TrB "Z"	S20	name x	SR	Going to get drugs for Treatment	Low, medium, High
S1	Arrival to the Store	S2	name x	Store	Looking for material for Testing	Low, medium, High
S2	Material for testing has been found	S3	name x	Moving	Moving from Store to TrB "X"	Low, medium, High
S3	Arrival to TrB "X"	S4	name x	TrB "X"	Asking P "Z" for approaching to TrB "X"	Low, medium, High
S4	Patient "Z" enter to TrB "X"	S5	name x	TrB "X"	Giving information to P	Low, medium, High
S5	Additional information has to be given (Analytics, electro, treatment, control)	S5	name x	TrB "X"	Giving information to P	Low, medium, High
<i>s5</i>	All the information has been given (Analytics)	S6	name x	TrB "X"	Performing analytics	Low, medium, High
<i>s5</i>	All the information has been given (Electro)	S15	name x	TrB "X"	Performing Electro	Low, medium, High
<i>s5</i>	All the information has been given (treatment)	S21	name x	TrB "X"	Giving drugs to P	Low, medium, High
S6	Extraction hasn't been completed	S6	name x	TrB "X"	Performing analytics	Low, medium, High
<i>s6</i>	Extraction has been completed	S7	name x	TrB "X"	Sending samples P "X" to Labs	Low, medium, High
S7	Sending has been completed	S8	name x	TrB "X"	Inform Patient go back to WR	Low, medium, High
S8	Patient "Z" leaves the TrB "X"	S9	name x	Moving	Moving from TrB "X" to SR	Low, medium, High
S9	Arrival to the SR after practicing a Analytics	S10	name x	SR	Introducing information into IS: samples has been sent	Low, medium, High
<i>s9</i>	Arrival to the SR after practicing a Electro	S10	name x	SR	Introducing information into IS: electro has been done	Low, medium, High
<i>s9</i>	Arrival to the SR after applying Treatment	S10	name x	SR	Introducing information into IS: treatment has been applied	Low, medium, High
S10	Introduction of informacion has been completed	S0	name x	SR	Requesting IS for information (general)	Low, medium, High
S11	There is no electro machine available	S0	name x	SR	Requesting IS for information (general)	Low, medium, High
<i>s11</i>	There is an electro machine available	S12	name x	Moving	Moving from SR to the Store of Electro Machines	Low, medium, High
S12	Arrival to the Store of Electro Machine	S13	name x	Elec Store	Taking the Electro Machine	Low, medium, High
S13	Electro Machine has been found	S14	name x	Moving	Moving from Store to TrB "X"	Low, medium, High
S14	Arrival to TrB "X"	S5	name x	TrB "X"	Giving information to P	Low, medium, High
S15	Electro has been completed incorrectly	S15	name x	TrB "X"	Performing Electro	Low, medium, High
<i>s15</i>	Electro has been completed correctly	S8	name x	TrB "X"	Inform Patient go back to WR	Low, medium, High
S17	Moving to the Pharmacy	S18	name x	Moving	Moving from SR to the Pharmacy	Low, medium, High
S18	Arrival to the Pharmacy	S19	name x	Pharmacy	Taking the drugs	Low, medium, High
S19	Drugs has been found	S20	name x	Moving	Moving from Pharmacy to TrB "X"	Low, medium, High
S20	Arrival to TrB "X"	S4	name x	TrB "X"	Asking P "Z" for approaching to TrB "X"	Low, medium, High
S21	Treatment has been applied	S8	name x	TrB "X"	Inform Patient go back to WR	Low, medium, High

## Enfermera Asistencial Nivel 2 (1 de 2)

### Assistential Nurse

#### State Variables

Name/Identifier

Location

Action

Level of experience

#### Possible Values

Name "X"

Moving, Triage Box "X", Store, Elec Store, Pharmacy, Medical/Staff Room,

Idle, Asking if the Electro Machine is available, Giving drugs to P, Giving information to P, Going to get drugs for Treatment, Going to get material for Testing, Helping P to finish task and leave the TrB "X",  
Introducing information into IS: electro has been done, Introducing information into IS: P "X" has passed control, Introducing information into IS: P "X" has to be attended by D,

Introducing information into IS: samples has been sent, Introducing information into IS: treatment has been applied, Leaving results & coming back to SR, Looking for material for Testing, Moving from SR to the Pharmacy,

Moving from SR to the Store of Electro Machines, Moving from SR to TrB "X", Moving from SR to TrB "X" to practice control of P, Moving from Store to TrB "X", Moving from TrB "X" to SR, Performing analytics, Performing Electro,

Preparing TrB "X" for next P, Requesting IS for information (general), Sending samples P "X" to Labs, Taking the drugs, Taking the Electro Machine, Taking vital signals to P

None, low, medium, High

State (t)	Input	State (t+1)	name/identifier	Location	Action	Level of experience
So: In SR requesting IS for information (general)	No news	S0	name x	SR	Idle	Low, medium, High
So: In SR requesting IS for information (general)	IS informs P "X" has to leave TrB "X"	S1	name x	Moving	Moving from SR to TrB "X"	Low, medium, High
So: In SR requesting IS for information (general)	IS informs Analytics has to be done to P "X" in TrB "Z"	S5	name x	Moving	Going to get material for Testing	Low, medium, High
So: In SR requesting IS for information (general)	IS informs Electro has to be done to P "X" in TrB "Z"	S12	name x	SR	Asking if the Electro Machine is available	Low, medium, High
So: In SR requesting IS for information (general)	IS informs Treatment has to be applied to P "X" in TrB "Z"	S19	name x	SR	Going to get drugs for Treatment	Low, medium, High
So: In SR requesting IS for information (general)	IS informs Time of P "X" in TrB "X" after action has expired & control has to be done	S25	name x	Moving	Moving from SR to TrB "X" to practice control of P	Low, medium, High
S1	P is in TrB "X"	S2	name x	TrB "X"	Helping P to finish task and leave the TrB "X"	Low, medium, High
	s1 No P is in TrB "X"	S3	name x	TrB "X"	Preparing TrB "X" for next P	Low, medium, High
S2	P finish task and leave the TrB "X"	S3	name x	TrB "X"	Preparing TrB "X" for next P	Low, medium, High
S3	TrB "X" is ready for next P	S4	name x	Moving	Moving from TrB "X" to SR	Low, medium, High
S4	Arrival to the SR after preparing TrB "X"	S0	name x	SR	Requesting IS for information (general)	Low, medium, High
	s4 Arrival to the SR after practicing a Analytics	S11	name x	SR	Introducing information into IS: samples has been sent	Low, medium, High
	s4 Arrival to the SR after practicing a Electro	S18	name x	SR	Introducing information into IS: electro has been done	Low, medium, High
	s4 Arrival to the SR after applying Treatment	S24	name x	SR	Introducing information into IS: treatment has been applied	Low, medium, High
	s4 Arrival to the SR after control: level of priority P "X" should be reviewed	S27	name x	TrB "X"	Introducing information into IS: P "X" has to be attended by D	Low, medium, High
	s4 Arrival to the SR after control: level of priority P "X" remains equal	S28	name x	TrB "X"	Introducing information into IS: P "X" has passed control	Low, medium, High
S5	Arrival to the Store	S6	name x	Store	Looking for material for Testing	Low, medium, High
S6	Material for testing has been found	S7	name x	Moving	Moving from Store to TrB "X"	Low, medium, High
S7	Arrival to TrB "X"	S8	name x	TrB "X"	Giving information to P	Low, medium, High
S8	Additional information has to be given (Analytics, electro, treatment, control)	S8	name x	TrB "X"	Giving information to P	Low, medium, High
	s8 All the information has been given (Analytics)	S9	name x	TrB "X"	Performing analytics	Low, medium, High
	s8 All the information has been given (Electro)	S16	name x	TrB "X"	Performing Electro	Low, medium, High
	s8 All the information has been given (treatment)	S23	name x	TrB "X"	Giving drugs to P	Low, medium, High
	s8 All the information has been given (control)	S26	name x	TrB "X"	Taking vital signals to P	Low, medium, High
S9	Extraction hasn't been completed	S9	name x	TrB "X"	Performing analytics	Low, medium, High
	s9 Extraction has been completed	S10	name x	TrB "X"	Sending samples P "X" to Labs	Low, medium, High

## Enfermera Asistencial Nivel 2 (2 de 2)

State	Event	State	Name	TrB	Activity Description	Priority
S10	Sending has been completed	S4	name x	Moving	Moving from TrB "X" to SR	Low, medium, High
S11	Introduction of informacion has been completed	S0	name x	SR	Requesting IS for information (general)	Low, medium, High
S12	There is no electro machine available	S0	name x	SR	Requesting IS for information (general)	Low, medium, High
	s12 There is an electro machine available	S13		Moving	Moving from SR to the Store of Electro Machines	Low, medium, High
S13	Arrival to the Store of Electro Machine	S14	name x	Elec Store	Taking the Electro Machine	Low, medium, High
S14	Electro Machine has been found	S15	name x	Moving	Moving from Store to TrB "X"	
S15	Arribal to TrB "X"	S8	name x	TrB "X"	Giving information to P	Low, medium, High
S16	Electro has been completed incorrectly	S16	name x	TrB "X"	Performing Electro	Low, medium, High
	s16 Electro has been completed correctly	S17	name x	TrB "X"	Leaving results & coming back to SR	Low, medium, High
S17	Leaving the TrB "X"	S4	name x	Moving	Moving from TrB "X" to SR	Low, medium, High
S18	Introduction of informacion has been completed	S0	name x	SR	Requesting IS for information (general)	Low, medium, High
S19	Moving to the Pharmacy	S20	name x	Moving	Moving from SR to the Pharmacy	Low, medium, High
S20	Arrival to the Pharmacy	S21	name x	Pharmacy	Taking the drugs	Low, medium, High
S21	Drugs has been found	S22	name x	Moving	Moving from Store to TrB "X"	
S22	Arribal to TrB "X"	S8	name x	TrB "X"	Giving information to P	Low, medium, High
S23	Treatment has been applied	S4	name x	Moving	Moving from TrB "X" to SR	Low, medium, High
S24	Introduction of informacion has been completed	S0	name x	SR	Requesting IS for information (general)	Low, medium, High
S25	Arribal to TrB "X"	S8	name x	TrB "X"	Giving information to P	Low, medium, High
S26	Control has been completed	S4	name x	Moving	Moving from TrB "X" to SR	Low, medium, High
S27	Introduction of informacion has been completed	S0	name x	SR	Requesting IS for information (general)	Low, medium, High
S28	Introduction of informacion has been completed	S0	name x	SR	Requesting IS for information (general)	Low, medium, High

## Técnico de Radiología

X- Ray

State Variables

Name/Identifier

Location

Action

Possible Values

Name "X"

X-Ray

Idle, Asking patient for approaching X-Ray Box "X", Preparing P for X-Ray Exploration, Carrying out the X-Ray Exploration, Asking patient for going back to Tr B "X", Introducing results into IS

State (t)	Input	State (t+1)	name/identifier	Location	Action
So: Requesting IS for information (general)	No P in WR	So	name x	X-Ray	Idle
<i>So: In SR requesting IS for information (general)</i>	SI informs that there are P in WR	S1	name x	X-Ray	Asking patient for approaching X-Ray Box "X"
S1	After a period of time, no P enters to X-Ray Box "X"	S1	name x	X-Ray	Asking patient for approaching X-Ray Box "X"
	<i>s1</i> After a period of time, P enters to X-Ray Box "X"	S2	name x	X-Ray	Preparing P for X-Ray Exploration
S2	P isn't ready for X-Ray Exploration	S2	name x	X-Ray	Preparing P for X-Ray Exploration
	<i>s2</i> P is ready for X-Ray Exploration	S3	name x	X-Ray	Carrying out the X-Ray Exploration
S3	X-Ray Exploration hasn't been completed properly	S2	name x	X-Ray	Preparing P for X-Ray Exploration
	X-Ray Exploration has been completed properly	S4	name x	X-Ray	Asking patient for going back to Tr B "X"
S4	Patient leaves the X-Ray Box "X"	S5	name x	X-Ray	Introducing results into IS
S5	Results have been introduced correctly into IS	So	name x	X-Ray	Idle

## Paciente nivel 1 (1 de 3)

### Patient

State Variables	Possible Values
Name/Identifier	Name "X"
Personal details	Age, Gender, Culture, religion ...
Location	Moving, Admission cue, Admission desk "X", WR1, Triage Box "X", WR2, Treatment BOX "X", Rx WR, Rx Lab
Action	Waiting (for being called by AS; for instructions in AD; for being called by TN; for being called by D...), P gives Information & Waiting, Moving (from AZ to WR1; from WR1 to TB "X"; from TB "X" to WR2; from WR2 to Tr B "X"; from TB "X" to WR3; from WR3 to X Ray Zone; leaving ED)
Level of priority	1, 2, 3, 4 or 5
Level of communication	Low, medium, High

State (t)	Input	State (t+1)	name/identifier	Personal details	Location	Action	Level of P.	Level of communication
S0	Arrival to ED: Other patients are waiting for Admission	S1	name x	Age, Gender, Culture, religion	AZ	Waiting for being called by AS	"X"	Low, medium, High
S1	AS ask Patient for Admission Process / P doesn't hear	S1	name x	Age, Gender, Culture, religion	AZ	Waiting for being called by AS	"X"	Low, medium, High
	s1 AS asks Patient for Admission Process / P hears	S2	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Approaching to AD	"X"	Low, medium, High
S2	Arrival to AD	S3	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	Waiting for instructions in AD	"X"	Low, medium, High
S3	AS requests to patient for Health Card / P doesn't hear	S3	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	Waiting for instructions in AD	"X"	Low, medium, High
	s3 AS requests to patient for Health Card / P doesn't have Health Card	S4	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	P informs to AS he doesn't have HC with him & Waiting	"X"	Low, medium, High
	s3 AS requests to patient for Health Card / P gives it to AS	S5	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	Giving Health Card and waiting for instructions	"X"	Low, medium, High
S4	AS Asks P for Personal Information / P doesn't understand	S4	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	P informs to AS he doesn't have HC with him & Waiting	"X"	Low, medium, High
	s4 AS Asks P for Personal Information / P understands	S6	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	P gives Personal Information & Waiting	"X"	Low, medium, High
S5	AS Asks P for Reassons of visit ED / P doesn't understand	S5	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	P gives Personal Information / Waiting	"X"	Low, medium, High
	s5 AS Asks P for Reassons of visit ED / P understands	S7	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	P gives reassons of visit to ED / waiting	"X"	Low, medium, High
S6	AS Asks P for Reassons of visit ED / P doesn't understand	S6	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	P gives Personal Information / Waiting	"X"	Low, medium, High
	s5 AS Asks P for Reassons of visit ED / P understands	S7	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	P gives reassons of visit to ED / waiting	"X"	Low, medium, High
S7	AS Asks P for going to WR1 / P doesn't understand	S7	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	P gives reassons of visit to ED / waiting	"X"	Low, medium, High
	s7 AS Asks P for going to WR1 / P understands	S8	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Moving from AZ to WR1	"X"	Low, medium, High
S8	Arrival to WR1 (after admission)	S9	name x	Age, Gender, Culture, religion	WR1	Waiting for being called by TN	"X"	Low, medium, High
S9	TN Asks P for approaching to TB "X" / P doesn't understand	S9	name x	Age, Gender, Culture, religion	WR1	Waiting for being called by TN	"X"	Low, medium, High
	s9 TN Asks P for approaching to TB "X" / P understands	S10	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Moving from WR1 to TB "X"	"X"	Low, medium, High
S10	Arrival to TB "X"	S11	name x	Age, Gender, Culture, religion	TB "X"	Waiting for instructions in TB "X"	"X"	Low, medium, High
S11	TN Asks P for information / P doesn't understand	S11	name x	Age, Gender, Culture, religion	TB "X"	Waiting for instructions in TB "X"	"X"	Low, medium, High
	s11 TN Asks P for information / P understands	S12	name x	Age, Gender, Culture, religion	TB "X"	P gives Information & Waiting	"X"	Low, medium, High

## Paciente nivel 1 (2 de 3)

S12	TN Asks P for going to WR2 / P doesn't understand	S12	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	P gives information & waiting	"X"	Low, medium, High
	<i>s12</i> TN Asks P for going to WR2 / P understands	S13	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Moving from TB "X" to WR2	"X"	Low, medium, High
S13	Arrival to WR2 (after triage)	S14	name x	Age, Gender, Culture, religion	WR2	Waiting for being called by D	"X"	Low, medium, High
S14	D Asks P for approaching to Tr B "X" / P doesn't understand	S14	name x	Age, Gender, Culture, religion	WR2	Waiting for being called by D	"X"	Low, medium, High
	<i>s14</i> D Asks P for approaching to Tr B "X" / P understands	S15	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Moving from WR2 to Tr B "X"	"X"	Low, medium, High
S15	Arrival to Tr B "X"	S16	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Waiting for instructions of D	"X"	Low, medium, High
S16	D requests P for information / P doesn't understand	S16	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Waiting for instructions of D	"X"	Low, medium, High
	<i>s16</i> D requests P for information / P understands	S17	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	P gives Information & Waiting	"X"	Low, medium, High
	<i>s16</i> D gives information & order P go to WR 3 or leave ED(after exploration)	S18	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Moving from TB "X" to WR3	"X"	Low, medium, High
S18	Patient leaves the ED	S19	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Patient leaves the ED	"X"	Low, medium, High
	<i>s18</i> Arrival to WR3 (after exploration - for analytics or Electro)	S20	name x	Age, Gender, Culture, religion	WR3	Waiting for being called (for additional exploration)	"X"	Low, medium, High
	<i>s18</i> Arrival to WR3 (after exploration - for Radiology)	S23	name x	Age, Gender, Culture, religion	WR3	Waiting for being called (for additional exploration)	"X"	Low, medium, High
	<i>s18</i> Arrival to WR3 (after analytics or electro)	S20	name x	Age, Gender, Culture, religion	WR3	Waiting for being called (for test results)	"X"	Low, medium, High
	<i>s18</i> Arrival to WR3 (after Radiology)	S20	name x	Age, Gender, Culture, religion	WR3	Waiting for being called (for test results)	"X"	Low, medium, High
	<i>s18</i> Arrival to WR3 (after tests results)	S34	name x	Age, Gender, Culture, religion	WR3	Waiting for being called (for treatment)	"X"	Low, medium, High
	<i>s18</i> Arrival to WR3 (after treatment)	S37	name x	Age, Gender, Culture, religion	WR3	Waiting for being called (for final diagnostic)	"X"	Low, medium, High
S20	CN Asks P for approaching to TB "X" (for performing test) / P doesn't understand	S20	name x	Age, Gender, Culture, religion	WR3	Waiting for being called	"X"	Low, medium, High
	<i>s20</i> CN Asks P for approaching to TB "X" (for performing test) / P understands	S21	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Moving from WR3 to TB "X"	"X"	Low, medium, High
S21	CN gives information to P (analytics / Electro has to be done)	S22	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Collaborating with CN while analytic is carried out	"X"	Low, medium, High
S22	CN informs that Analytic has to be repeated	S22	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Collaborating with CN while analytic is carried out	"X"	Low, medium, High
	<i>s22</i> CN informs that Analytic has been completed & P leaves Tr B "X"	S18	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Moving from TB "X" to WR3	"X"	Low, medium, High
S23	TS Calls P approaching X-Ray zone (exploration has to be done) / P doesn't understand	S23	name x	Age, Gender, Culture, religion	WR3	Waiting for being called (for additional exploration)	"X"	Low, medium, High
	<i>s23</i> TS Calls P approaching X-Ray zone (exploration has to be done) / P understands	S24	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Moving from WR3 to X Ray Zone	"X"	Low, medium, High
S24	Arrival to Ray-X Zone	S25	name x	Age, Gender, Culture, religion	Ray-X WR	Waiting for being called for Ray-X exploration	"X"	Low, medium, High
S25	P is Asked for enter to Ray-X Box / P doesn't understand	S25	name x	Age, Gender, Culture, religion	Ray-X WR	Waiting for being called for Ray-X exploration	"X"	Low, medium, High
	<i>s25</i> P is Asked for enter to Ray-X Box / P understands	S26	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Approaching to Ray-X Box "X"	"X"	Low, medium, High
S26	Arrival to Ray-X Box "X"	S27	name x	Age, Gender, Culture, religion	Ray-X Box	Waiting for instructions in Ray-X Box "X"	"X"	Low, medium, High
S27	P Recieves information & is prepared for exploration	S28	name x	Age, Gender, Culture, religion	Ray-X Box	Collaborating while Ray-X Exploration is carried out	"X"	Low, medium, High

### Paciente nivel 1 (3 de 3)

S28	Exploration has to be repeated	S29	name x	Age, Gender, Culture, religion	Ray-X Box	Collaborating while Ray-X Exploration is carried out	"X"	Low, medium, High
	s28 Exploration has been completed & leaves Ray-X Box "X"	S30	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Leaving Ray-X Box "X" & Ray-X Zone	"X"	Low, medium, High
S30	Leaving the Ray-X Zone	S18	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Moving from Ray-X Zone to Tr B "X"	"X"	Low, medium, High
S31	D Asks P for approaching to Tr B "X" / P doesn't understand	S31	name x	Age, Gender, Culture, religion	WR2	Waiting for being called by D	"X"	Low, medium, High
	s31 D Asks P for approaching to Tr B "X" / P understands	S32	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Moving from WR3 to Tr B "X"	"X"	Low, medium, High
S32	Arrival to Tr B "X"	S33	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Waiting for instructions of D	"X"	Low, medium, High
S33	D gives information & order P go to WR3 or leave ED (after tests)	S18	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Moving from TB "X" to WR3	"X"	Low, medium, High
S34	CN Asks P for approaching to TB "X" (for Applying Treatment) / P doesn't understand	S34	name x	Age, Gender, Culture, religion	WR3	Waiting for being called	"X"	Low, medium, High
	s34 CN Asks P for approaching to TB "X" (for Applying Treatment) / P understands	S35	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Moving from WR3 to TB "X"	"X"	Low, medium, High
S35	CN gives information to P (treatment has to be applied)	S36	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Collaborating with CN while treatment is applied	"X"	Low, medium, High
S36	CN informs that treatment has been applied	S18	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Moving from TB "X" to WR3	"X"	Low, medium, High
S37	D Asks P for approaching to Tr B "X" / P doesn't understand	S37	name x	Age, Gender, Culture, religion	WR3	Waiting for being called by D	"X"	Low, medium, High
	s37 D Asks P for approaching to Tr B "X" / P understands	S38	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Moving from WR3 to Tr B "X"	"X"	Low, medium, High
S38	Arrival to Tr B "X"	S39	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Waiting for instructions of D	"X"	Low, medium, High
S39	D gives information & order P leave ED (after final diagnostic)	S18	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Patient leaves the ED	"X"	Low, medium, High



## Paciente nivel 2 (1 de 3)

### Patient

State Variables	Possible Values
Name/Identifier	Name "X"
Personal details	Age, Gender, Culture, religion ...
Location	Moving, Admission cue, Admission desk "X", WR1, Triage Box "X", WR2, Treatment BOX "X", Rx WR, Rx Lab
Action	Idle, Approaching to AD, Approaching to Ray-X Box "X", Arriving to Admission Zone, Collaborating while Ray-X Exploration is carried out, Collaborating with CN while analytic is carried out, Collaborating with CN while electro is carried out, Collaborating with CN while treatment is applied, Collaborating with CN while vital signals are taken, Collaborating with TS & Leaving the Tr B "X", Dressing & leaving the ED, Giving Health Card and waiting for instructions, Leaving Ray-X Box "X" & Ray-X Zone, Moving from AZ to WR1, Moving from Ray-X Zone to Tr B "X", Moving from TB "X" to WR2, Moving from WR1 to TB "X", Moving from WR2 to Tr B "X", Moving to Ray-X Zone, P gives Information & Waiting, P gives Personal Information & Waiting, P gives reassons of visit to ED / waiting, P informs to AS he doesn't have HC with him & Waiting, Paying attention to D, Waiting for being called by AS, Waiting for being called by D, Waiting for being called by TN, Waiting for being called for Ray-X exploration, Waiting for instructions in AD, Waiting for instructions in Ray-X Box "X", Waiting for instructions in TB "X", Waiting for instructions of D, Waiting for next steps
Level of Priority	1, 2, 3, 4, 5 See detail in file "Mapa de patologias"
Level of communication	Low, medium, High

State (t)	Input	State (t+1)	name/identifier	Personal details	Location	Action	L. of Priority	Level of communication
		So	name x	Age, Gender, Culture, religion	Idle		"X"	Low, medium, High
		So	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Arriving to Admission Zone	"X"	Low, medium, High
S0	Other patients are waiting for Admission	S1	name x	Age, Gender, Culture, religion	AZ	Waiting for being called by AS	"X"	Low, medium, High
S1	AS ask Patient for Admission Process / P doesn't hear	S1	name x	Age, Gender, Culture, religion	AZ	Waiting for being called by AS	"X"	Low, medium, High
	<sup>S1</sup> AS asks Patient for Admission Process / P hears	S2	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Approaching to AD	"X"	Low, medium, High
S2	Arrival to AD	S3	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	Waiting for instructions in AD	"X"	Low, medium, High
S3	AS requests to patient for Health Card / P doesn't hear	S3	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	Waiting for instructions in AD	"X"	Low, medium, High
	<sup>S3</sup> AS requests to patient for Health Card / P doesn't have Health Card	S4	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	P informs to AS he doesn't have HC with him & Waiting	"X"	Low, medium, High
	<sup>S3</sup> AS requests to patient for Health Card / P gives it to AS	S5	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	Giving Health Card and waiting for instructions	"X"	Low, medium, High
S4	AS Asks P for Personal Information / P doesn't understand	S4	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	P informs to AS he doesn't have HC with him & Waiting	"X"	Low, medium, High
	<sup>S4</sup> AS Asks P for Personal Information / P understands	S6	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	P gives Personal Information & Waiting	"X"	Low, medium, High
S5	AS Asks P for Reassons of visit ED / P doesn't understand	S5	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	P gives Personal Information / Waiting	"X"	Low, medium, High
	<sup>S5</sup> AS Asks P for Reassons of visit ED / P understands	S7	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	P gives reassons of visit to ED / waiting	"X"	Low, medium, High
S6	AS Asks P for Reassons of visit ED / P doesn't understand	S6	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	P gives Personal Information / Waiting	"X"	Low, medium, High
	<sup>S5</sup> AS Asks P for Reassons of visit ED / P understands	S7	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	P gives reassons of visit to ED / waiting	"X"	Low, medium, High
S7	AS Asks P for going to WR1 / P doesn't understand	S7	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	P gives reassons of visit to ED / waiting	"X"	Low, medium, High
	<sup>S7</sup> AS Asks P for going to WR1 / P understands	S8	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Moving from AZ to WR1	"X"	Low, medium, High

## Paciente nivel 2 (2 de 3)

S8	Arrival to WR1 (after admission)	S9	name x	Age, Gender, Culture, religion	WR1	Waiting for being called by TN	"X"	Low, medium, High
S9	TN Asks P for approaching to TB "X" / P doesn't understand	S9	name x	Age, Gender, Culture, religion	WR1	Waiting for being called by TN	"X"	Low, medium, High
	<sup>s9</sup> TN Asks P for approaching to TB "X" / P understands	S10	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Moving from WR1 to TB "X"	"X"	Low, medium, High
S10	Arrival to TB "X"	S11	name x	Age, Gender, Culture, religion	TB "X"	Waiting for instructions in TB "X"	"X"	Low, medium, High
S11	TN Asks P for information / P doesn't understand	S11	name x	Age, Gender, Culture, religion	TB "X"	Waiting for instructions in TB "X"	"X"	Low, medium, High
	<sup>s11</sup> TN Asks P for information / P understands	S12	name x	Age, Gender, Culture, religion	TB "X"	P gives Information & Waiting	"X"	Low, medium, High
S12	TN Asks P for going to WR2 / P doesn't understand	S12	name x	Age, Gender, Culture, religion	AD "X"	<sup>P gives information &amp; waiting</sup>	"X"	Low, medium, High
	<sup>s12</sup> TN Asks P for going to WR2 / P understands	S13	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Moving from TB "X" to WR2	"X"	Low, medium, High
S13	Arrival to WR2 (after triage)	S14	name x	Age, Gender, Culture, religion	WR2	Waiting for being called by D	"X"	Low, medium, High
S14	D Asks P for approaching to Tr B "X" / P doesn't understand	S14	name x	Age, Gender, Culture, religion	WR2	Waiting for being called by D	"X"	Low, medium, High
	<sup>s14</sup> D Asks P for approaching to Tr B "X" / P understands	S15	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Moving from WR2 to Tr B "X"	"X"	Low, medium, High
S15	Arrival to Tr B "X"	S16	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Waiting for instructions of D	"X"	Low, medium, High
S16	D requests P for information / P doesn't understand	S16	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Waiting for instructions of D	"X"	Low, medium, High
	<sup>s16</sup> D requests P for information / P understands	S17	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	P gives Information & Waiting	"X"	Low, medium, High
	<sup>s16</sup> D gives information & leaves the Tr B "X" (after exploration)	S18	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Waiting for next steps	"X"	Low, medium, High
S17	D gives instructions & starts exploration of P	S16	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Waiting for instructions of D	"X"	Low, medium, High
S18	CN enters, gives information to P (analytics has to be done)	S19	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Collaborating with CN while analytic is carried out	"X"	Low, medium, High
	<sup>s18</sup> CN enters, gives information to P (electro has to be done)	S20	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Collaborating with CN while electro is carried out	"X"	Low, medium, High
	<sup>s18</sup> TS enters, gives information to P (X-Ray exploration has to be done)	S21	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Collaborating with TS & Leaving the Tr B "X"	"X"	Low, medium, High
	<sup>s18</sup> CN enters, gives information to P (treatment has to be applied)	S30	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Collaborating with CN while treatment is applied	"X"	Low, medium, High
	<sup>s18</sup> CN enters & takes vital signals (control)	S31	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Collaborating with CN while vital signals are taken	"X"	Low, medium, High
	<sup>s18</sup> D enters & gives information (diagnostic) to P (next steps)	S32	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Paying attention to D	"X"	Low, medium, High
	<sup>s18</sup> TS enters, gives information to P (there is a free room in the Hospital)	S33	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Collaborating with TS & Leaving the Tr B "X" definitively	"X"	Low, medium, High
S19	CN informs that Analytic has to be repeated	S19	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Collaborating with CN while analytic is carried out	"X"	Low, medium, High
	<sup>s19</sup> CN informs that Analytic has been completed & leaves Tr B "X"	S18	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Waiting for next steps	"X"	Low, medium, High

## Paciente nivel 2 (3 de 3)

S20	CN informs that electro has to be repeated	S20	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Collaborating with CN while electro is carried out	"X"	Low, medium, High
	<sup>s20</sup> CN informs that electro has been completed & leaves Tr B "X"	S18	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Waiting for next steps	"X"	Low, medium, High
S21	Leaving the Tr B "X"	S22	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Moving to Ray-X Zone	"X"	Low, medium, High
S22	Arrival to Ray-X Zone	S23	name x	Age, Gender, Culture, religion	Ray-X WR	Waiting for being called for Ray-X exploration	"X"	Low, medium, High
S23	P is Asked for enter to Ray-X Box / P doesn't understand	S23	name x	Age, Gender, Culture, religion	Ray-X WR	Waiting for being called for Ray-X exploration	"X"	Low, medium, High
S24	TN Asks P for approaching to TB "X" / P understands	S24	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Approaching to Ray-X Box "X"	"X"	Low, medium, High
S25	Arrival to Ray-X Box "X"	S26	name x	Age, Gender, Culture, religion	Ray-X Box	Waiting for instructions in Ray-X Box "X"	"X"	Low, medium, High
S26	P Recieves information & is prepared for exploration	S27	name x	Age, Gender, Culture, religion	Ray-X Box	Collaborating while Ray-X Exploration is carried out	"X"	Low, medium, High
S27	Exploration has to be repeated	S27	name x	Age, Gender, Culture, religion	Ray-X Box	Collaborating while Ray-X Exploration is carried out	"X"	Low, medium, High
	<sup>s27</sup> Exploration has been completed & leaves Ray-X Box "X"	S28	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Leaving Ray-X Box "X" & Ray-X Zone	"X"	Low, medium, High
S28	Leaving the Ray-X Zone	S29	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Moving from Ray-X Zone to Tr B "X"	"X"	Low, medium, High
S29	Arrival to Tr B "X"	S18	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Waiting for next steps	"X"	Low, medium, High
S30	CN informs that treatment has been applied & leaves Tr B "X"	S18	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Waiting for next steps	"X"	Low, medium, High
S31	Vital signals have to be taken again	S31	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Collaborating with CN while vital signals are taken	"X"	Low, medium, High
	<sup>s31</sup> Process has been completed & leaves Tr Box "X"	S18	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Waiting for next steps	"X"	Low, medium, High
S32	Patient has to leave the ED	S33	name x	Age, Gender, Culture, religion	Moving	Dressing & leaving the ED	"X"	Low, medium, High
	<sup>s32</sup> Patient has to be hospitalized	S18	name x	Age, Gender, Culture, religion	Tr B "X"	Waiting for next steps	"X"	Low, medium, High

## Anexo 3

### Manual básico de Netlogo

En este anexo se pretende facilitar información adicional que permita a cualquier usuario la ejecución del simulador. La versión actual de la simulación puede ser ejecutada en versiones 4.1 o posteriores de Netlogo, aunque se recomienda su uso en versiones 5.0.2 o posteriores. Se puede acceder a los archivos de instalación y todo tipo de documentación en el portal WEB de Netlogo<sup>19</sup>.

Una vez instalado Netlogo, para la correcta ejecución del simulador es importante que en la carpeta del fichero que contiene dicha versión esté el fichero con los datos de entrada de pacientes (Input\_Data). Para ejecutar la simulación del SUH el usuario podrá elegir entre:

- 1- Clicar 2 veces (botón izquierdo del ratón) encima del fichero “1.2-ED-Simulation.nlogo”
- 2- Ejecutar NETLOGO, y en el menú ARCHIVO seleccionar ABRIR. Se abrirá una nueva ventana en la que nos permitirá ir a la carpeta o directorio en el que esté el fichero “1.2-ED-Simulation.nlogo”, seleccionar dicho fichero, y clicar encima del botón ABRIR.

Una vez cargado el fichero se podrá ejecutar la simulación con las opciones de configuración que contiene por defecto. En caso de que se quieran modificar las mismas, se deben seguir las especificaciones que se facilitan en el punto de “configuración de los parámetros básicos del SUH”. La figura 1 muestra una captura de pantalla de la interfaz mostrada de Netlogo en este punto. En la zona superior de la pantalla principal se muestran las opciones de menú horizontal (Archivo, Editar, Herramientas, Tamaño, Pestañas, Ayuda). En este manual breve sólo se comentan las opciones necesarias para la ejecución de la simulación del SUH. Para ampliar la infor-

---

<sup>19</sup> La URL del portal es <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Una vez en la página principal, acceder a la opción de menú DESCARGAS (DOWNLOAD), seleccionar la versión de Netlogo que se desea descargar, completar la información que solicita, e iniciar la descarga. Completada la descarga proceder a instalar el aplicativo.

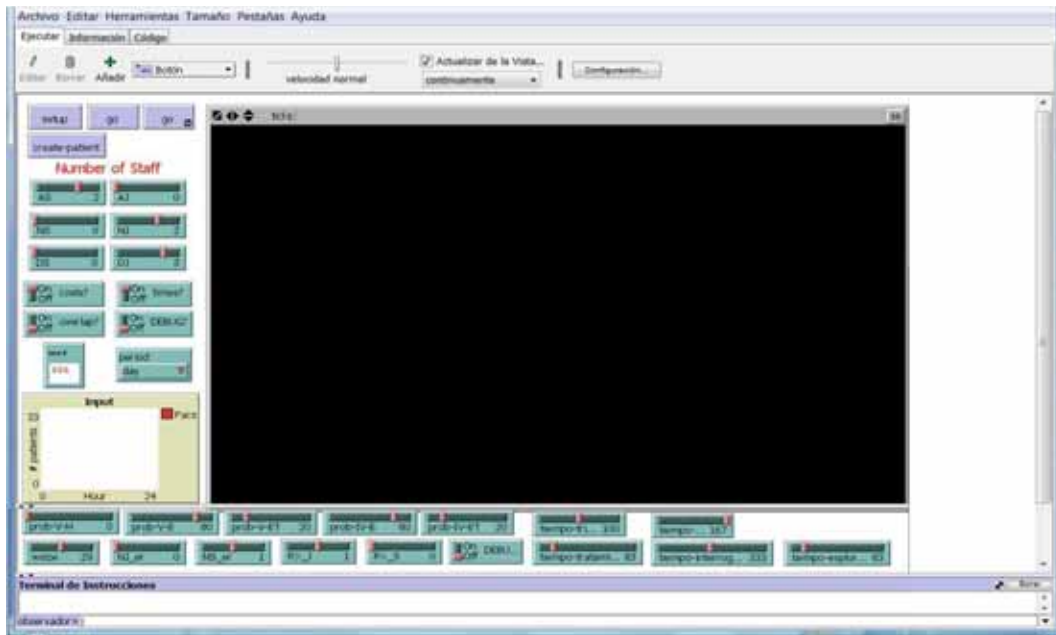


Figura 1. Captura de pantalla principal de Netlogo

mación que se facilita o encontrar información sobre funcionalidades no desarrolladas se puede consultar el apartado de videotutoriales y de documentación del portal de Netlogo.

Justo debajo de la barra de menú horizontal aparecen 3 pestañas:

1. **Ejecutar**: a través de esta opción “ejecutar” se muestra la pantalla principal, la consola de configuración, y se podrá ejecutar la simulación.
2. **Información**: en la que se facilita información general del simulador desarrollado.
3. **Código**: a través de esta opción se puede acceder y editar el código de la simulación. Tal y como se irá comentando, hay ciertos cambios de configuración se que harán a través de este apartado. La figura 2 muestra una captura de pantalla con la información que se visualiza cuando se selecciona esta pestaña.

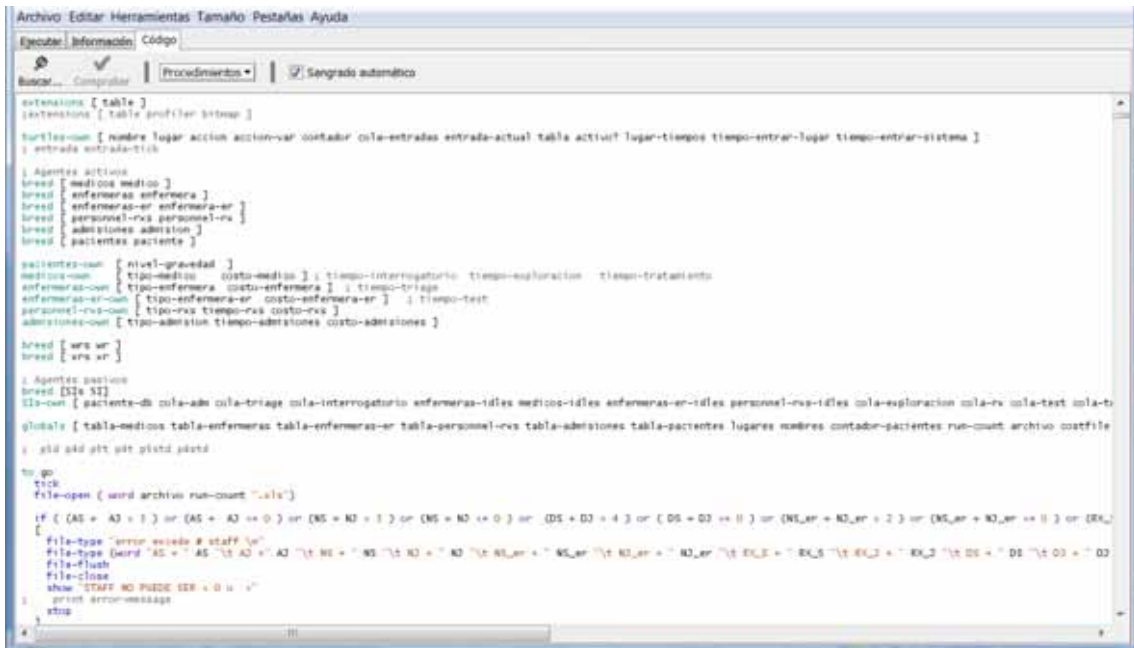


Figura 2. Captura de pantalla del contenido de la pestaña “Código”.

### Configuración de parámetros básicos

La mayor parte de las acciones de configuración se llevan a cabo a través de los botones que contiene la consola de configuración disponible en la pantalla principal (pestaña “Ejecutar”). Tal y como muestra la figura 3 en la zona de la izquierda y en la zona inferior se encuentran los botones de acción y configuración de la simulación.

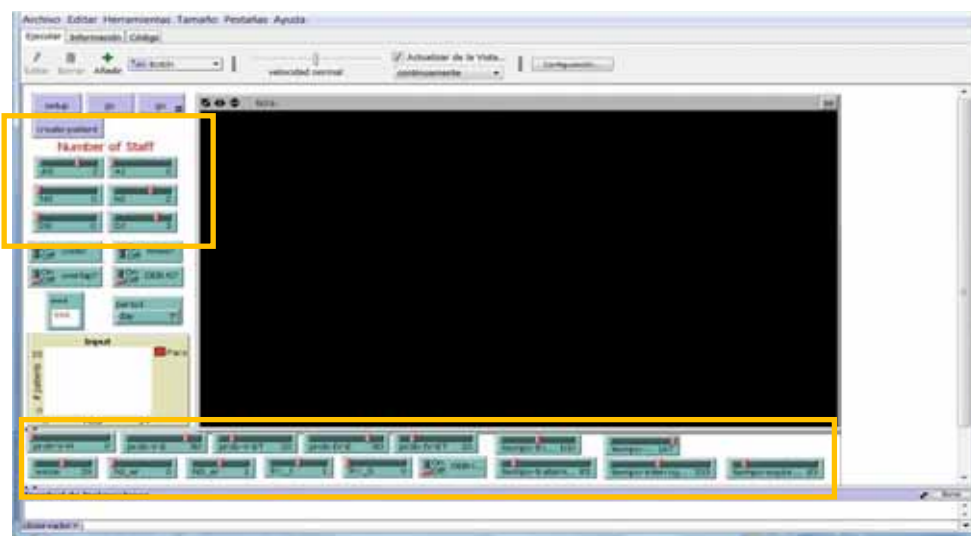


Figura 3. Consola de configuración de parámetros del SUH

En la zona de la izquierda y en la zona inferior se muestran los botones de acción y configuración de la simulación. A través de esta consola de configuración el usuario podrá definir la cantidad (respetando los mínimos y máximos de cada tipo) y nivel de experiencia de cada uno de los miembros del staff del SUH (junior o senior):

- **Personal de Admisión:** con el comando AS se definirá la cantidad de administrativos/as con perfil Senior, y con el comando AJ con perfil Junior. El mínimo de cada tipo será 0, y el máximo de 3. El usuario debe tener en cuenta que el total de personal de admisión (la suma de ambos) del SUH debe ser como mínimo 1 profesional y como máximo 3.
- **Enfermeras de triaje:** con el comando NS se definirá la cantidad de enfermeras con perfil Senior, y con el comando NJ con perfil Junior. El mínimo de cada tipo será 0, y el máximo de 3. Una vez más el total de enfermeras de triaje (la suma de ambos) será como mínimo de 1 profesional y como máximo de 3.
- **Médicos:** con el comando DS se definirá la cantidad de médicos con perfil Senior, y con el comando DJ con perfil Junior. El mínimo de cada tipo será 0, y el máximo de 4. Se debe tener en cuenta que el total de médicos (la suma de ambos) del SUH será como mínimo de 1 profesional y como máximo de 4.
- **Enfermeras asistenciales:** con el comando NS\_er se definirá la cantidad de enfermeras asistenciales con perfil Senior, y con el comando NJ\_er con perfil Junior. El mínimo de cada tipo será 0, y el máximo de 2. El total de enfermeras asistenciales será como mínimo de 1 profesional y como máximo de 2.
- **Técnico de Rx:** con el comando RX\_S se definirá la cantidad técnicos con perfil Senior, y con el comando RX\_J con perfil Junior. El mínimo de cada tipo será 0, y el máximo 2. Una vez más el total será la suma de ambos, y el sistema obliga a que como mínimo sea de 1 y como máximo de 2.

Mediante esta misma consola el usuario podrá definir los porcentajes de pacientes que deben pasar por la fase de exploraciones complementarias (**prob-"X"-E**, siendo "X" el tipo de pacientes, IV o V) y los que pasan por fase de tratamiento (**prob-"X"-ET**, siendo "X" el tipo de pacientes, IV o V). La consola incluye otros botones de configuración que se han desarrollado para llevar a cabo experimentaciones concretas, si bien no son comentadas en esta parte del documento (se comentarán más adelante).



La configuración de tiempos y de costes correspondientes a cada uno de los tipos y perfiles de *staff* administrativo y sanitario se realiza a través del código. En concreto habrá que identificar el tipo de staff (pestaña código → desplegable de “procedimientos”, y dentro de éste, seleccionar el tipo de personal: Crear-admisiones; Crear-enfermera-triaje; Crear-medico; Crear-enfermera-er; Crear-rxs). La figura 4 muestra el código que permite definir los parámetros de los médicos. El marco amarillo señala la parte que corresponde a definición de tiempos y coste. En concreto:

```

set tipo-medico tipo-M

if tipo-medico = 1 [ set tiempo-interrogatorio 250 set costo-medico 1000 set
tiempo-exploracion 50 set tiempo-tratamiento 50 ] ; 250 = 15 min 50 = 3 min
if tipo-medico = 2 [ set tiempo-interrogatorio 333 set costo-medico 500 set
tiempo-exploracion 83 set tiempo-tratamiento 83 ] ; 350 = 21 min 333 = 20
min 83 = 5 min

```



Figura 4. Código que permite definir los parámetros de tiempo y coste de los diferentes perfiles de médicos

El médico tipo 1 corresponde a perfil senior, y el tipo 2 a perfil junior. El tiempo de los médicos queda definido por el tiempo requerido para completar la fase interrogatorio (set tiempo-interrogatorio), la fase de exploración (set tiempo-exploracion) y la de

tratamiento (set tiempo-tratamiento)<sup>20</sup>. Cuanto mayor sea la experiencia del profesional (en este caso el médico) menor cantidad de tiempo requerirá para completar un mismo proceso (o etapa de éste). En el ejemplo que se incluye los tiempos son recogidos en la tabla 1:

Tabla 1. Tiempos necesarios para completar las 3 fases desarrolladas por los médicos, para los 2 niveles de experiencia (Senior y Junior). El tiempo se expresa tanto en minutos como en Tics.

Perfil del médico	T. Interrogatorio	T. Exploración	T. Tratamiento
Senior	250 (15 min)	50 (3 min)	50 (3 min)
Junior	333 (21 min)	83 (5 min)	83 (5 min)

En lo relativo al coste (salario), cuanto mayor sea la experiencia del profesional mayor será su salario. En el ejemplo que se incluye es de 1.000 u.m. para médico senior y de 500 para médico junior.

Finalmente, si se desea modificar los porcentajes relativos a la tipología de pacientes atendidos (1 a 5), tendremos que seleccionar la opción “**Crear-paciente2**” de entre las opciones disponibles en el desplegable “procedimientos” (pestaña código → desplegable de “procedimientos”). Nos mostrará la información relativa a la última configuración guardada, en nuestro ejemplo:

```

to crear-paciente2
  if (ticks = item 0 A-queue-arrival )
  [
    if item 0 A-queue-arrival = ticks
    [
      let pac random 100 + 1
      if ( pac >= 0 ) and ( pac <= 1 ) ; 1%
      [ set pac-tipo 1 ]
      if ( pac >= 2 ) and ( pac <= 4 ) ; 3%
      [ set pac-tipo 2 ]
    ]
  ]

```

<sup>20</sup> En Netlogo el tiempo se mide en “Tics”. Cada TIC representa una unidad de tiempo. En nuestro caso concreto hemos considerado que 1 hora equivale a 10.000 TICs, o lo que es lo mismo, 1 minuto equivale a aproximadamente 17 Tics. Para mayor claridad y transparencia al lado del código se ha incluido un comentario con las equivalencias

```

if ( pac >= 5 ) and ( pac <= 24 ) ; 20%
[   set pac-tipo 3   ]
if ( pac >= 25 ) and ( pac <= 50 ) ; 26%
[   set pac-tipo 4   ]
if ( pac >= 51 ) and ( pac <= 100 ) ; 50%
[   set pac-tipo 5   ]

```

que significa que de los pacientes que entran en el SUH (información leída del fichero de datos de entrada), considerará que el 1% corresponde a pacientes de tipo 1, el 3% a pacientes de tipo 2, el 20% a pacientes de tipo 3, el 26% a pacientes de tipo 4 y el 50% a pacientes de tipo 5. El total debe sumar 100%. En caso de que se quieran modificar dichos porcentajes el usuario deberá cambiar los tramos que permiten su cálculo (a través de los intervalos de mínimo y máximo se especifica los puntos de porcentaje). El valor máximo de un tramo concreto, condiciona el mínimo del tramo siguiente. Veámoslo a través del ejemplo que se incluye:

En el caso de pacientes de tipo 1, el valor mínimo siempre será "0", y el máximo será el resultado de sumar al mínimo los puntos correspondientes. Al ser un 1% el máximo será 1. Por tanto la sentencia será:

```

if ( pac >= 0 ) and ( pac <= 1 ) ; 1%
[   set pac-tipo 1   ]

```

En el caso de pacientes tipo 2 el porcentaje es del 3%. El mínimo será el valor entero inmediato siguiente al máximo del tramo anterior (en este caso 2), y como el rango incluye 3 puntos porcentuales, el valor máximo será de 4 (2, 3 y 4):

```

if ( pac >= 2 ) and ( pac <= 4 ) ; 3%
[   set pac-tipo 2   ]

```

Una manera más sencilla de automatizar la identificación del valor correspondiente al extremo superior es mediante la expresión o fórmula:

Valor de extremo inferior + puntos porcentuales del tipo de pacientes – 1

que para el caso que estamos analizando sería:  $2 + 3 - 1 = 4$ . De igual manera se podrá hacer para el resto de tipo de pacientes. Así para pacientes de tipo 3 (20%) el mínimo será 5 y el máximo 24 ( $5 + 20 - 1 = 24$ ), para pacientes de tipo 4 (26%) el mínimo será 25 y el máximo 50 ( $25 + 26 - 1 = 50$ ), y para pacientes de tipo 5 (50%) el mínimo será 51 y el máximo 100 ( $51 + 50 - 1 = 100$ ). Cabe decir que el valor máximo del rango de variación correspondiente a pacientes de tipo 5 siempre deberá ser 100.

### Carga de la configuración y ejecución de simulación

Una vez configurados los parámetros, procede llevar a cabo la ejecución de la simulación. Para ello debemos ir a la pestaña “Ejecutar” y clicar encima del botón “setup”. El simulador cargará los parámetros y mostrará en pantalla el *lay-out* correspondiente a dicha configuración. La figura 5 muestra una captura de pantalla correspondiente a un SUH con 2 administrativos en admisión con perfil senior, 2 enfermeras de triaje con perfil junior, 3 médicos con perfil junior, 1 enfermera asistencial con perfil senior, y 1 técnico de Rx con perfil junior.

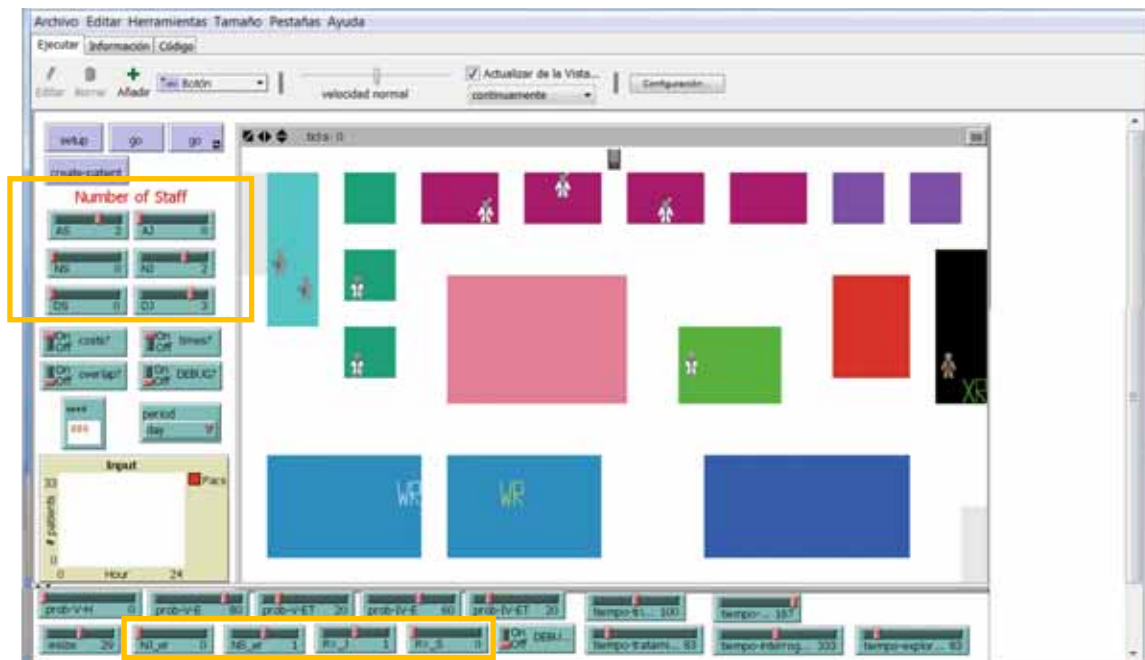


Figura 5. Imagen de la pantalla principal una vez se ha cargado la Configuración del SUH previa ejecución de la simulación

En último lugar podremos seleccionar si queremos que Netlogo muestre en pantalla el estado del SUH después de cada Tic (actualizar la vista)<sup>21</sup> y la velocidad de ejecución. Para ejecutar la simulación habrá que pinchar encima de “GO”<sup>22</sup>.

---

<sup>21</sup> La actualización de pantalla tiene como ventaja el hecho de que permite visualizar como se comporta el sistema, y así detectar si responde a lo esperado o no. Pero tiene como inconveniente que requiere de mayores recursos del sistema, con lo que el tiempo requerido para completar la ejecución será mayor. Ejecuciones realizadas con una misma configuración en diferentes sistemas permite concluir que ejecutar con visualización conlleva un aumento del tiempo requerido del alrededor del 34,5% en relación a hacerlo sin visualización (1 min 50 segundos frente a 2 min 03 segundos).

<sup>22</sup> El simulador incluye 2 alternativas de ejecución: A) “Go”: ejecuta un solo Tic, de manera que sólo avanza 1 paso o unidad de tiempo; B) “Go continuado”: ejecuta la simulación hasta su finalización o hasta que el usuario la interrumpa pulsando encima del botón “Go”.

