

E.T.S. de Ingeniería Industrial,  
Informática y de Telecomunicación

# La toma de decisiones sobre el alta de pacientes en UCI: Desarrollo de un simulador para el análisis comparado entre médicos



Máster Universitario en  
Ingeniería Industrial

Trabajo Fin de Máster

Daniel García de Vicuña Bilbao

Director: Fermín Mallor Giménez

Pamplona, fecha de defensa 29 de junio de 2018



## ABSTRACT

*This Master's Thesis aims at the construction of a simulator to analyze the decisions about the discharge of patients in an ICU. These decisions are especially relevant in situations of high occupation, because they can lead to the anticipation of the discharge of a patient or the rejection of a new patient. The entire process of simulator's development is described, from mathematical modeling to the development of the program. In addition, in the Complement to the Master's Thesis, a comparison of the results obtained by six physicians of an ICU is presented, who agreed to carry out a pilot test. This work is integrated into the development of the research carried out by the DECYL research group within the framework of the project MTM 2016-77015-R.*

## KEY WORDS

*Intensive Care Unit, Discrete-event Simulation, discharge of patients, scheduled surgeries, medical decisions.*

## RESUMEN

*Este Trabajo Fin de Máster tiene por objeto la construcción de un simulador que permita analizar las decisiones sobre el alta de pacientes en una UCI. Estas decisiones son especialmente relevantes en situaciones de alta ocupación de la misma, porque pueden llevar a anticipar el alta de algún paciente o al rechazo de algún paciente nuevo. Se describe todo el proceso de elaboración del simulador, desde el modelado matemático hasta el desarrollo del programa. Además, en el Complemento al Trabajo fin de Máster, se presenta una comparación de los resultados obtenidos por parte de seis médicos de una UCI, que accedieron a realizar una prueba piloto. Este trabajo se integra en el desarrollo de la investigación realizada por el grupo de investigación DECYL en el marco del proyecto MTM 2016-77015-R.*

## LISTA DE PALABRAS CLAVE

*Unidad de Cuidados Intensivos, Simulación de Eventos Discretos, alta de pacientes, cirugías programadas, decisiones médicas.*

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1. OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2. ANTECEDENTES DEL TRABAJO EN LA UPNA.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3. SIMULADORES CON FINES DE ENTRENAMIENTO .....</b>	<b>14</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1. UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS .....</b>	<b>15</b>
2.1.1. Definición de UCI.....	15
2.1.2. Problemática de la alta ocupación de una UCI .....	17
a. Triage de los pacientes ingresados en UCI .....	18
b. Triage al ingreso en UCI.....	18
c. Traslado entre hospitales .....	19
d. Suspensión quirúrgica.....	20
e. Sobrecarga de trabajo y estrés del personal sanitario .....	20
<b>2.2. SIMULACIÓN DE SISTEMAS .....</b>	<b>20</b>
2.2.1. Modelos de colas.....	21
a. Introducción .....	21
b. Características .....	21
c. Modelos de colas Moarkovianos. ....	22
2.2.2. Introducción a la simulación.....	23
2.2.3. Simulación de eventos discretos.....	24
a. Componentes del modelo .....	25
b. Contadores estadísticos.....	25
c. Avance de la simulación.....	26
<b>3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1. MODELADO DE UNA UCI.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2. SIMULADOR.....</b>	<b>28</b>
3.2.1. Justificación.....	28
3.2.2. Características.....	28
<b>3.3. NECESIDAD DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>30</b>
3.3.1. Funcionamiento de una UCI .....	30
a. Toma de decisiones .....	30
b. Procedimiento de ingresos y altas.....	30
c. Proceso de alta .....	31
d. Flujo de información.....	31
3.3.2. Datos de pacientes.....	32
<b>4. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN.....</b>	<b>34</b>
<b>4.1. ELEMENTOS DE LA SIMULACIÓN .....</b>	<b>34</b>

4.1.1.	Variables de estado .....	34
a.	Estado de las camas .....	34
b.	Estado de los pacientes ingresados .....	36
c.	Número de pacientes sobre los que decidir el ingreso .....	37
4.1.2.	Eventos .....	38
a.	Sesiones clínicas .....	38
b.	Llegada de pacientes .....	39
c.	Estado de pacientes.....	41
d.	Limpieza de camas .....	42
e.	Datos clínicos.....	43
f.	Final de la simulación.....	44
4.1.3.	Reloj de la simulación.....	44
4.1.4.	Calendario de eventos.....	45
4.1.5.	Contadores estadísticos .....	46
a.	Llegadas a la UCI.....	46
b.	Alta de pacientes.....	47
c.	Ingresos retrasados .....	47
4.1.6.	Diagrama de flujo .....	48
<b>4.2.</b>	<b>PROCESO DE LLEGADAS .....</b>	<b>51</b>
4.2.1.	Factores influyentes.....	51
a.	Dificultad de gestión .....	51
b.	Escenario .....	51
4.2.2.	Tasa de llegadas .....	52
a.	Generación de pacientes urgentes.....	53
b.	Generación de pacientes programados.....	53
4.2.3.	Sincronización de las llegadas.....	54
a.	Sincronización de los pacientes urgentes.....	54
b.	Sincronización de los pacientes programados .....	56
<b>4.3.</b>	<b>INICIALIZACIÓN DEL SISTEMA .....</b>	<b>56</b>
4.3.1.	Historial de llegadas .....	57
a.	Simulación de las llegadas de los pacientes urgentes.....	57
b.	Simulación de las llegadas de los pacientes programados.....	58
4.3.2.	Pacientes iniciales en la UCI .....	58
a.	Número de pacientes iniciales.....	59
b.	Tipos de los pacientes iniciales .....	59
c.	Tiempo que lleva ingresado el paciente inicial .....	59
<b>4.4.</b>	<b>REPETICIÓN DE ESCENARIOS .....</b>	<b>60</b>
<b>4.5.</b>	<b>ESCENARIOS.....</b>	<b>61</b>
4.5.1.	Mix de pacientes.....	62
4.5.2.	Parámetros generales .....	63
4.5.3.	Tipos de alta.....	64
4.5.4.	Guardar y cargar escenarios .....	65
<b>4.6.</b>	<b>RECOGIDA DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>66</b>
4.6.1.	Resumen de la simulación.....	66
4.6.2.	Resultados de la simulación .....	67
4.6.3.	Toma de decisiones sobre pacientes.....	67

<b>5. DESCRIPCIÓN DEL SIMULADOR .....</b>	<b>69</b>
<b>5.1. PANTALLAS INICIALES .....</b>	<b>69</b>
5.1.1. Inicio .....	69
5.1.2. Configuración de escenarios .....	70
5.1.3. Datos de usuario .....	73
5.1.4. Resumen de escenario .....	74
<b>5.2. PANTALLA PRINCIPAL .....</b>	<b>77</b>
5.2.1. Mapa de camas de la UCI .....	78
5.2.2. Historial de acciones durante la simulación .....	88
5.2.3. Historial de llegadas de pacientes .....	89
5.2.4. Programación quirúrgica.....	90
<b>5.3. VENTANAS EMERGENTES .....</b>	<b>95</b>
5.3.1. Sesiones clínicas .....	95
5.3.2. Llegadas de pacientes urgentes .....	96
5.3.3. Notificaciones .....	100
<b>5.4. FINALIZACIÓN DE LA SIMULACIÓN .....</b>	<b>101</b>
5.4.1. Ejecución completa de la simulación .....	101
5.4.2. Abandono de la simulación en curso .....	102
<b>5.5. DIAGRAMA DE FLUJO .....</b>	<b>104</b>
<b>6. VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN .....</b>	<b>106</b>
6.1. ADECUACIÓN AL FUNCIONAMIENTO DE UNA UCI.....	106
6.2. GENERACIÓN CORRECTA DE ESCENARIOS .....	107
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>109</b>
<b>8. LÍNEAS FUTURAS .....</b>	<b>110</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>111</b>
<b>10. ANEXOS.....</b>	<b>115</b>
<b>ANEXO A. CONJUNTO DE VARIABLES REQUERIDAS.....</b>	<b>115</b>
➤ DATOS INFORMATIVOS DEL PACIENTE.....	115
▪ DATOS DEL PACIENTE .....	115
▪ ANTECEDENTES PERSONALES .....	116
▪ TIPO DE PACIENTE .....	116
➤ DATOS CLÍNICOS DEL PACIENTE .....	117
▪ PARÁMETROS NEUROLÓGICOS .....	117
▪ PARÁMETROS HEMODINÁMICOS .....	117
▪ PARÁMETROS RESPIRATORIOS .....	117
▪ PARÁMETROS RENALES .....	118
▪ BALANCES.....	118
▪ MEDICACIÓN .....	118
▪ EVENTOS Y CUIDADOS.....	122
▪ INFECCIONES.....	124
▪ ANALÍTICAS.....	124



▪ GASOMETRÍA .....	125
▪ INFORMES.....	125
▪ PARÁMETROS NO CUANTIFICABLES.....	126
<b>ANEXO B. MÉTODO DE LA TRANSFORMADA INVERSA .....</b>	<b>127</b>
<b>ANEXO C. INFORME CLÍNICO DE ALTA DE UN PACIENTE.....</b>	<b>129</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama de flujo de un modelo de simulación de eventos discretos.....	26
<b>Figura 2.</b> Pantalla de consulta real de datos de pacientes. ....	29
<b>Figura 3.</b> Información acerca del estado de las camas.....	36
<b>Figura 4.</b> Diagrama del cambio de estado de las camas. ....	36
<b>Figura 5.</b> Información acerca de los datos de un paciente. ....	37
<b>Figura 6.</b> Calendario del simulador.....	45
<b>Figura 7.</b> Reloj de la simulación. ....	45
<b>Figura 8.</b> Diagrama de flujo del modelo de simulación. ....	49
<b>Figura 9.</b> Proceso de salida del paciente.....	50
<b>Figura 10.</b> Sincronización hacia atrás. ....	55
<b>Figura 11.</b> Sincronización hacia delante.....	55
<b>Figura 12.</b> Historial de llegadas de pacientes a la UCI. ....	57
<b>Figura 13.</b> Configuración del mix de pacientes (1). ....	62
<b>Figura 14.</b> Configuración del mix de pacientes (2). ....	62
<b>Figura 15.</b> Configuración del mix de pacientes (3). ....	63
<b>Figura 16.</b> Configuración de los parámetros generales. ....	63
<b>Figura 17.</b> Configuración de los tipos de alta.....	64
<b>Figura 18.</b> Configuraciones predeterminadas.....	66
<b>Figura 19.</b> Resumen de la simulación. ....	66
<b>Figura 20.</b> Toma de decisiones sobre pacientes. ....	68
<b>Figura 21.</b> Pantalla de inicio del simulador. ....	70
<b>Figura 22.</b> Ventana de aviso para la configuración de escenarios.....	70
<b>Figura 23.</b> Pantalla que da acceso a la configuración del escenario. ....	71
<b>Figura 24.</b> Ventana de aviso de contraseña y usuario incorrectos.....	71
<b>Figura 25.</b> Pantalla de configuración del escenario de simulación.....	72
<b>Figura 26.</b> Ventana de aviso para guardar el escenario correctamente.....	72
<b>Figura 27.</b> Ventana para guardar un escenario en el ordenador. ....	73
<b>Figura 28.</b> Ventana de escenario guardado. ....	73
<b>Figura 29.</b> Ventana de error en el nombre del archivo.....	73
<b>Figura 30.</b> Pantalla donde se introducen los datos de usuario. ....	74
<b>Figura 31.</b> Pantalla del resumen del escenario de simulación. ....	75
<b>Figura 32.</b> Ventana de aviso para cargar el escenario correctamente.....	75
<b>Figura 33.</b> Ventana para cargar un escenario del ordenador.....	76
<b>Figura 34.</b> Ventana de error en el tipo de archivo.....	76
<b>Figura 35.</b> Pantalla de configuraciones predeterminadas.....	76
<b>Figura 36.</b> Pantalla principal del simulador. ....	77
<b>Figura 37.</b> Ventana con una barra progresiva indicando la inicialización del sistema. 78	
<b>Figura 38.</b> Mapa de camas de la UCI (1).....	78
<b>Figura 39.</b> Mapa de camas de la UCI (2).....	79
<b>Figura 40.</b> Mapa de camas de la UCI (3).....	79
<b>Figura 41.</b> Información de cama libre. ....	80
<b>Figura 42.</b> Información de cama con paciente fallecido.....	81

<b>Figura 43.</b> Información de cama con paciente grave.....	81
<b>Figura 44.</b> Información de cama con paciente estabilizado, susceptible de ser dado de alta.....	81
<b>Figura 45.</b> Información de cama con paciente recuperado para ser dado de alta.....	81
<b>Figura 46.</b> Información de cama con paciente dado de alta. ....	82
<b>Figura 47.</b> Información de cama en limpieza.....	82
<b>Figura 48.</b> Información de cama de un paciente al que se le asigna el alta. ....	82
<b>Figura 49.</b> Ventana de confirmación del alta de un paciente. ....	83
<b>Figura 50.</b> Vista general (1).....	83
<b>Figura 51.</b> Vista general (2).....	84
<b>Figura 52.</b> Parámetros neurológicos. ....	84
<b>Figura 53.</b> Parámetros hemodinámicos.....	84
<b>Figura 54.</b> Parámetros respiratorios. ....	84
<b>Figura 55.</b> Eventos y cuidados. ....	85
<b>Figura 56.</b> Infecciones.....	85
<b>Figura 57.</b> Analíticas (1). ....	85
<b>Figura 58.</b> Analíticas (2). ....	85
<b>Figura 59.</b> Gasometrías. ....	86
<b>Figura 60.</b> Parte médico (1).....	86
<b>Figura 61.</b> Parte médico (2).....	86
<b>Figura 62.</b> Parte médico (3).....	86
<b>Figura 63.</b> Parte de enfermería (1). ....	86
<b>Figura 64.</b> Parte de enfermería (2). ....	87
<b>Figura 65.</b> Parte de enfermería (3). ....	87
<b>Figura 66.</b> Ventana de gestión de pacientes susceptibles de ser dados de alta.....	88
<b>Figura 67.</b> Panel del historial de acciones durante la simulación.....	88
<b>Figura 68.</b> Gráfica con el historial de llegadas de pacientes a la UCI. ....	89
<b>Figura 69.</b> Panel con la programación quirúrgica. ....	90
<b>Figura 70.</b> Ventana de gestión de cirugías (1).....	91
<b>Figura 71.</b> Ventana de confirmación de las cirugías seleccionadas (1). ....	91
<b>Figura 72.</b> Ventana de confirmación de las cirugías seleccionadas (2). ....	92
<b>Figura 73.</b> Ventana de gestión de cirugías (2).....	92
<b>Figura 74.</b> Ventana de suspensión de las cirugías seleccionadas.....	93
<b>Figura 75.</b> Ventana de gestión de cirugías (3).....	93
<b>Figura 76.</b> Ventana con la programación quirúrgica de un día (1). ....	94
<b>Figura 77.</b> Ventana con la programación quirúrgica de un día (2). ....	94
<b>Figura 78.</b> Ventana con la programación quirúrgica de un día (3). ....	94
<b>Figura 79.</b> Ventana de sesión clínica de mañana (1).....	95
<b>Figura 80.</b> Ventana de sesión clínica de mañana (2).....	95
<b>Figura 81.</b> Ventana de sesión clínica de tarde.....	96
<b>Figura 82.</b> Ventana de sesión clínica de noche. ....	96
<b>Figura 83.</b> Ventana de llegada de paciente urgente a la UCI (1). ....	97
<b>Figura 84.</b> Ventana de llegada de paciente urgente a la UCI (2). ....	97
<b>Figura 85.</b> Ventana de llegada de paciente urgente a la UCI (3). ....	98
<b>Figura 86.</b> Ventana de llegada de paciente urgente a la UCI (4). ....	98
<b>Figura 87.</b> Ventana de llegada de paciente urgente a la UCI (5). ....	98
<b>Figura 88.</b> Ventana de llegada de paciente urgente a la UCI (6). ....	99
<b>Figura 89.</b> Ventana de llegada de paciente urgente a la UCI (7). ....	99

<b>Figura 90.</b> Ventana de llegada de paciente urgente a la UCI (8). .....	100
<b>Figura 91.</b> Ventana de llegada de paciente urgente a la UCI (9). .....	100
<b>Figura 92.</b> Ventana de información sobre el alta de pacientes (1). .....	101
<b>Figura 93.</b> Ventana de información sobre el alta de pacientes (2). .....	101
<b>Figura 94.</b> Ventana de información sobre la gestión de las cirugías. ....	101
<b>Figura 95.</b> Reloj de la simulación en el momento final. ....	102
<b>Figura 96.</b> Ventana de información de la finalización de la simulación. ....	102
<b>Figura 97.</b> Ventana de información de la creación del documento Word. ....	102
<b>Figura 98.</b> Ventana de información de la creación del documento Excel. ....	102
<b>Figura 99.</b> Panel con los botones del control de la simulación. ....	103
<b>Figura 100.</b> Ventana de confirmación de la salida de la simulación. ....	103
<b>Figura 101.</b> Ventana de confirmación del reinicio de la simulación. ....	103
<b>Figura 102.</b> Pantalla principal del simulador con la pestaña de nueva configuración. .....	104
<b>Figura 103.</b> Ventana de confirmación de una nueva configuración. ....	104
<b>Figura 104.</b> Diagrama de flujo del simulador. ....	105
<b>Figura 105.</b> Configuración del mix de pacientes con ingresos programados del 0%. 107	
<b>Figura 106.</b> Panel con la programación quirúrgica en el que no hay cirugías. ....	108
<b>Figura 107.</b> Diagnóstico principal unificado. ....	115
<b>Figura 108.</b> Tipo de alta. ....	116



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Información de los pacientes llegados a la UCI. ....	46
<b>Tabla 2.</b> Información de las altas de los pacientes. ....	47
<b>Tabla 3.</b> Información de los ingresos retrasados. ....	48
<b>Tabla 4.</b> Estado de las camas de la UCI. ....	80
<b>Tabla 5.</b> Información de los datos clínicos del paciente. ....	83

# 1.INTRODUCCIÓN

Este trabajo de Fin de Máster comprende el estudio y desarrollo de un **simulador** que permita analizar las decisiones sobre el alta de pacientes en una **Unidad de Cuidados Intensivos** (UCI). Estas decisiones son especialmente relevantes en situaciones de alta ocupación de la misma, porque pueden llevar a anticipar el alta de algún paciente o la negación del ingreso de algún paciente nuevo. Por lo tanto, este simulador debe generar un entorno similar al que se podría encontrar un médico en la UCI, de manera que éste pueda consultar las pantallas de seguimiento de los pacientes ingresados y sobre los que tuviera que tomar la decisión de asignar el alta.

El grupo de investigación DECYL del Departamento de Estadística e Investigación Operativa de la Universidad Pública de Navarra, lleva colaborando desde hace varios años con el personal médico de la UCI del Complejo Hospitalario de Navarra. Gracias a esta colaboración, es posible aunar dos visiones diferentes sobre el problema de la gestión de camas de una UCI y así poder considerar tanto los aspectos clínicos como los técnicos en el funcionamiento de una UCI. En este trabajo, los conocimientos médicos aportados por el personal de la UCI han sido fundamentales para poder obtener un simulador válido y de utilidad.

Las Unidades de Cuidados Intensivos son fundamentales para la atención de pacientes que combinan altos niveles de gravedad con una razonable expectativa de sustancial recuperación. Existen factores como la posibilidad de suministrar soporte a varios sistemas afectados o el envejecimiento de la población, que han conducido a un incremento del número de pacientes ingresados en ellas, con una previsión de aumento de las necesidades en el futuro.

Sin embargo, el coste asociado a estas Unidades es muy superior a los costes atribuidos a la hospitalización en camas convencionales, debido a la alta tecnología implantada, y sobre todo al elevado número de profesionales que sustentan estas Unidades. Por eso, la **gestión de camas** de una Unidad de Cuidados Intensivos es un problema con una **doble vertiente**. Por un lado, se tiene el alto precio del servicio, ocasionado principalmente por los altos gastos fijos de las camas (independientemente del grado de ocupación), por lo que, desde un **punto de vista económico**, se pretenderá **maximizar la ocupación** de las camas de la UCI para evitar su infrautilización. Por otro lado, se tiene el alto riesgo para la salud de la población que conlleva la insuficiencia del número de camas libres, por lo que, desde un **punto de vista clínico**, se **evitarán las altas ocupaciones**.

Durante el día a día, es el **personal médico** de la UCI el que debe **ajustar la demanda** de camas con la capacidad de servicio. La naturaleza estocástica tanto de las llegadas de los pacientes a la UCI, como de su tiempo de estancia hace inevitable que periódicamente haya pacientes a los que se les tenga que acortar su estancia para poder gestionar esa situación de alta ocupación. Estos pacientes pueden ser dados de alta precozmente, con el riesgo de hacer frente en el futuro a posibles reingresos.

Por otro lado, la negación de este servicio a los pacientes que lo necesitan, por no disponer de camas suficientes o por cualquier otro motivo, se asocia a un peor pronóstico. En estos casos se opta por cancelar la realización de alguna cirugía programada, y no permitir el ingreso de pacientes urgentes que han llegado a la UCI.

Por lo tanto, la decisión sobre el alta no programada de un paciente se convierte en una **decisión individual del médico responsable**, que se basa en su convicción sobre la futura evolución de ese paciente y la posible llegada de un paciente que pueda beneficiarse del tratamiento recibido al ser admitido. En consecuencia, estas decisiones se fundamentan tanto en el análisis clínico del estado de salud de los pacientes ya ingresados, como en la percepción del riesgo que supone la llegada inminente de un paciente que puede beneficiarse en mayor medida de los cuidados intensivos que alguno de los pacientes ya presentes. Esta percepción al riesgo tiene una componente subjetiva que conduce a diferentes decisiones médicas en relación con el alta de los pacientes.

Además del escenario planteado de la presión por falta de camas, existen **dos factores** que también influyen cuando se le da de alta a un paciente. Por un lado, puede haber **variabilidad entre los médicos** a la hora de determinar la estabilidad del paciente para ser trasladado a otra área del hospital (normalmente se debate entre la plantilla médica en las sesiones clínicas diarias). Por otro lado, aparecen **factores que no son clínicos** pero que también influyen en esta decisión, como son la disponibilidad de camas en el servicio al que se va a derivar el paciente o el día de la semana en el que se esté tomando la decisión.

Analizar esta variabilidad es un paso necesario para evaluar la eficacia y eficiencia del servicio de salud proporcionado y así determinar su calidad. En principio, la variabilidad no es un aspecto negativo, pero una **variación inapropiada** puede conducir a **ineficiencias en la calidad de la atención**. Por lo tanto, se debe analizar la variación y analizar sus causas con el fin de mejorar la atención que se proporciona al paciente y así normalizar criterios.

En la práctica clínica, la variabilidad puede ser debida a diversas razones o a una combinación de ellas: falta de criterios clínicos estandarizados en determinados procesos, cambio en los criterios o recomendaciones clínicas, diferencia en la experiencia de los médicos, aumento en la tasa de ingresos (aumento de la cirugía programada, epidemias...), aumento en el nivel de ocupación, etc. Mediante la simulación, se pueden **controlar algunos de esos factores** que contribuyen a esa variabilidad, pudiendo de esa forma analizar otros más subjetivos o imposibles de controlar.

## 1.1. OBJETIVOS

Con estas premisas, se plantea la posibilidad de construir un simulador que resulte amigable para el personal médico, y así poder estudiar todos estos factores que influyen en la variabilidad de una forma práctica y rápida. A largo plazo, lo que se persigue es desarrollar métodos de análisis y comparación de las decisiones llevadas

a cabo por los diferentes médicos al utilizar este simulador, para poder indagar sobre las diferencias observadas.

No es posible abordar todas estas cuestiones en este trabajo, ya que lo que se está planteando tiene un enfoque muy amplio. Por lo tanto, la **meta** de este proyecto consiste en **construir un primer modelo válido de simulador de una UCI**, a partir del cual sea posible recopilar información de las decisiones tomadas por el personal médico, y poder analizarla y estudiarla en el futuro. Con esta visión, se plantearon los siguientes **objetivos**:

- **Organización de bases de datos** para almacenar la información histórica de los pacientes que han pasado por la UCI en el último año, y poder utilizarla en el simulador.
- **Construcción del simulador de la UCI**, implementando los modelos matemáticos desarrollados.
- **Desarrollo de una interfaz** que imite las pantallas de la aplicación utilizadas por los médicos para facilitar su manejo del programa.
- **Propuesta de indicadores estadísticos** para medir la variabilidad en la toma de decisiones sobre el alta de pacientes.
- **Validación del simulador**, realización de una prueba piloto y recogida de datos.

## 1.2. ANTECEDENTES DEL TRABAJO EN LA UPNA

La simulación se ha utilizado ampliamente para analizar los **problemas de gestión** del sistema de atención sanitario, que se caracterizan por un entorno estocástico y de recursos humanos y materiales limitados.

En España, la Universidad Pública de Navarra ha formado parte recientemente en varios trabajos en los que la simulación ha sido pieza clave en aplicaciones clínicas. Como ya se ha mencionado en la introducción del trabajo, la relación existente entre uno de los departamentos de la Universidad y el personal del complejo hospitalario hace posible el desarrollo de estos estudios.

En el año 2015, Julio Barado presenta en su tesis doctoral [1] una **metodología** que ha resultado adecuada para la **construcción de modelos válidos de simulación de la ocupación de las camas de una Unidad de Cuidados Intensivos**. La metodología se basa en el desarrollo de un modelo con los pacientes ingresados durante un período de nueve años en la Unidad de Cuidados Intensivos A del Complejo Hospitalario de Navarra.

El modelo construido, supera en varios aspectos a los previamente desarrollados, ya que en él figuran las decisiones médicas dirigidas hacia la gestión de camas en situaciones de alta ocupación. Estas decisiones, aunque conocidas en su aspecto clínico, no habían sido incluidas en modelos de simulación previamente desarrollados, por lo que esta ha sido la mayor aportación del trabajo en este campo.

El modelo construido se basa en variables muy habituales desde el punto de vista clínico, lo que le hace fácilmente extrapolable a otras Unidades de Cuidados Intensivos. Además, es posible analizar las capacidades predictivas del modelo ante hipotéticos escenarios de incremento tanto de pacientes en general como de subgrupos de pacientes.

En el año 2016, Marta Cildoz propone con su trabajo de fin de máster [2] un punto de partida para la **obtención de un instrumento y metodología para mejorar la eficiencia organizativa en la atención a las urgencias**. El desarrollo de un modelo de simulación permitió reproducir el comportamiento del servicio de urgencias, con una precisión suficiente para proporcionar información relevante, y poder tomar decisiones concernientes a su dimensionamiento y gestión.

Con este modelo, se implementa una alternativa de gestión a la que había en ese momento, consiguiendo reducir más del 75% la variabilidad en la carga de trabajo de los empleados, sin empeorar la calidad de la atención del paciente.

### 1.3. SIMULADORES CON FINES DE ENTRENAMIENTO

Los simuladores con fines de entrenamiento se utilizan para poder adquirir la soltura y los conocimientos necesarios con los que enfrentarse en la práctica a una situación similar. En el campo de la medicina, no existen muchos trabajos de este tipo. Los simuladores que utilizan se basan más en réplicas de pacientes con los que poder practicar intervenciones, pero en estos casos el concepto de simulación es diferente.

En otros países, se han realizado investigaciones en el campo sanitario en las que la simulación toma un papel muy importante. Cabe destacar el trabajo de Rauner *et al.* [3] en el cual desarrollan un **simulador para mejorar las políticas de decisión en incidentes donde la cantidad de heridos es muy elevada**.

En el pasado, el personal médico era entrenado principalmente con costosos y elaborados simulacros de desastres que pudiesen darse en la vida real, para obtener experiencia con situaciones de este tipo. Ahora, eso se transforma en un programa de simulación, que emula una situación de emergencia, en la que el usuario tiene que tomar muchas decisiones importantes para solventarla lo mejor posible. Gracias a esta nueva herramienta, el personal médico puede entrenarse con mayor facilidad. Además, se puede utilizar para enseñar técnicas de programación y planificación a los estudiantes, como la simulación, la teoría de colas y la asignación de recursos [4,5].

El trabajo concluye con un estudio experimental para comprobar el potencial del simulador, en el cual participan estudiantes, profesionales de los servicios de atención médica e investigadores. Los datos que obtienen muestran que la mayoría de los participantes mejoran los resultados en la segunda simulación que realizan con respecto a la primera.

## 2. MARCO TEÓRICO

Antes de comenzar con la parte práctica del proyecto, es conveniente realizar un desarrollo de los aspectos teóricos que se abordan en el mismo. Así, se adquieren los conocimientos necesarios sobre los diferentes temas, de manera que las decisiones que se tomen a lo largo del proyecto se realicen con criterio.

### 2.1. UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS

Existe una **gran cantidad de literatura médica** relacionada con las Unidades de Cuidados Intensivos. Debido a que estas Unidades son unos de los recursos más caros y complejos de un hospital, la mayoría de las investigaciones tratan sobre las políticas de ingreso y alta de los pacientes.

Varios estudios muestran que en los momentos en los que se produce una **escasez de camas en la UCI**, los ingresos y las altas de los pacientes son sometidos a **procesos de triaje** [6-8]. Estas decisiones de alta del paciente se estudian en gran parte de la literatura médica, y analizan las consecuencias de las altas prematuras, cuyo principal objetivo es, a menudo, liberar camas de la Unidad [9-13]. El alta del paciente es un proceso que está influenciado por factores relacionados con el estado de salud y entorno del paciente y ciertos problemas organizativos [14].

Costa *et ál.* [15] observan **cambios en la política de gestión de una UCI** cuando éstas se completan, y el personal médico intenta limitar los ingresos o dar de alta a los pacientes en mejor estado. Por ejemplo, Ridge *et ál.* [16] señalan que las altas prematuras de los pacientes más recuperados para trasladarlos a otra unidad con menores cuidados es una solución típica cuando se tiene una escasez de camas en la UCI.

En general, una UCI con elevada ocupación de camas **incrementa** el número de **solicitudes de ingreso rechazadas** y el **umbral de gravedad** para la admisión de un paciente en la UCI; y acorta la duración de la estancia de los pacientes [17, 18]. Otras consecuencias de una tasa de ocupación de camas excesiva son las **cancelaciones de cirugías programadas** y las **transferencias** de los pacientes a otros centros hospitalarios.

A continuación, por medio de una adaptación de las investigaciones que realiza Julio Barado en su tesis [1], se va a explicar el concepto de la UCI y la problemática que lleva asociada la alta ocupación de estas Unidades.

#### 2.1.1. Definición de UCI

Una **Unidad de Cuidados Intensivos (UCI)** es una **instalación especial dentro del área hospitalaria que proporciona medicina intensiva**. Estas instalaciones son una pieza clave para los pacientes que presentan una situación clínica de alta gravedad o requieren una monitorización compleja y que son susceptibles de recuperarse. El origen de estas Unidades se debe al desarrollo de técnicas capaces de dar **soporte a**

**diferentes sistemas fisiológicos de los pacientes**, de manera que pueden ser mantenidos a pesar de que les falle más de un órgano.

En el año 2011, el **Grupo de Mejora de la Calidad de la Sociedad Europea de Medicina Intensiva** redactó un documento acerca de los requerimientos de una UCI [19], tras realizar un consenso con profesionales de 23 países. Este documento, considerado una adaptación de las recomendaciones publicadas por la misma Sociedad 14 años antes [20], define los diferentes niveles de cuidados que puede requerir un paciente:

- **Nivel III:** Paciente con **múltiple fallo agudo de órganos vitales** que precisan tratamiento inmediato. Estos pacientes requieren soporte para estos órganos, farmacológico o mediante aparatos, como son el soporte hemodinámico, asistencia respiratoria o técnicas de reemplazo renal.

- **Nivel II:** Pacientes que precisan monitorización y soporte farmacológico o hemodinámico (por ejemplo, soporte hemodinámico, asistencia respiratoria, técnicas de reemplazo renal) para el **fallo agudo de un único órgano vital**.

- **Nivel I:** Pacientes que presentan signos de disfunción orgánica y que requieren monitorización continua o soporte farmacológico o mediante **aparatos de menores prestaciones**. Estos pacientes están en riesgo de desarrollar uno o más fallos orgánicos agudos. En este grupo se incluyen los pacientes en periodo de recuperación de uno o más fallos orgánicos agudos pero que aún presentan una situación de inestabilidad o de gran complejidad en su manejo.

Conforme a estos grados de atención requeridos, los pacientes que precisan unos cuidados correspondientes a los **niveles III y II** son los que pueden ser **atendidos en una UCI**. Por otro lado, se encuentran las **Unidades de Cuidados Intermedios**, que solo pueden dispensar cuidados a los pacientes del **nivel I**. En ese mismo documento se concretan los pacientes que podrían beneficiarse del ingreso en una UCI:

- **Pacientes** que requieren monitorización y tratamiento porque **una o más funciones vitales** están **amenazadas** debido a una enfermedad aguda o una reagudización de una enfermedad crónica (como sepsis, infarto agudo de miocardio, hemorragia intestinal) o como secuela de un proceso quirúrgico u otro proceso invasivo.

- **Pacientes** que ya presentan **fallo de una función vital** (cardiovascular, respiratoria, renal, metabólica o cerebral) pero con una razonable probabilidad de recuperación significativa. En principio, no serían admitidos los pacientes con enfermedades terminales en su fase final, sin descartar que en ocasiones puntuales se requiera ingreso en UCI para realizar tratamiento paliativo.

- Un tercer tipo de ingreso lo constituirían los **pacientes en muerte encefálica** o en proceso de llegar a esta situación y en los que se considera la **donación de órganos**.

Desde un punto de vista normativo, en España, el **Real Decreto 1277/2003** por el que se establecen las bases generales sobre autorización de centros, servicios y

establecimientos sanitarios, define Medicina Intensiva como “una Unidad asistencial en la que un médico especialista en Medicina Intensiva es responsable de que se preste la atención sanitaria precisa, continua e inmediata a pacientes con alteraciones fisiopatológicas que han alcanzado un nivel de gravedad tal que representan una amenaza actual o potencial para su vida y, al mismo tiempo, son susceptibles de recuperación”.

En el año 2010, el **Ministerio de Sanidad y Política Social** realiza un informe sobre las Unidades de Cuidados Intensivos [21], en el cual se propone definir la UCI como “una organización de profesionales sanitarios que ofrece asistencia multidisciplinar en un espacio específico del hospital, que cumple unos requisitos funcionales, estructurales y organizativos de forma que garantiza las condiciones de seguridad, calidad y eficiencia adecuadas para atender pacientes que, siendo susceptibles de recuperación, requieren soporte respiratorio o que precisan soporte respiratorio básico junto con soporte de, al menos, dos órganos o sistemas, así como todos los pacientes complejos que requieran soporte por fallo multiorgánico. La UCI puede atender a pacientes que requieren un menor nivel de cuidados”.

Por lo tanto, desde los puntos de vista asistencial y normativo, quedan claras las características que deben reunir los pacientes susceptibles de ser ingresados en una UCI (alta gravedad, monitorización compleja y expectativas razonables de recuperación). Sin embargo, en la práctica, pocos son los hospitales que utilizan criterios de ingreso de manera que se cumplan estas condiciones [22].

Por último, **la definición de cama de UCI no es tan concreta**. Hay lugares en los que se relaciona con el grado de severidad de la enfermedad y la capacidad de sostener las diferentes disfunciones orgánicas, mientras que en otras zonas la definición se fundamenta en la intensidad del soporte de personal médico y de enfermería asignado a estas camas [23]. En cualquier caso, de **forma global, la cama de UCI es aquella donde se atiende al paciente que cumple los criterios de ingreso en UCI**.

### 2.1.2. Problemática de la alta ocupación de una UCI

En una Unidad de Cuidados Intensivos, la **cama es un recurso muy costoso**, por lo que una escasa ocupación implica la infrutilización de un servicio excesivamente caro, ya que la mayor parte de los gastos no dependen del grado de ocupación.

Por otro lado, este grado de ocupación es muy variable y poco predecible, ya que depende tanto de factores programados, como la cirugía que requiere que el postoperatorio se derive a la UCI, como de factores aleatorios como son los ingresos urgentes de pacientes. Esto implica que las políticas de gestión enfocadas en la alta ocupación, para evitar desaprovechar un recurso caro, se topen en determinadas circunstancias con el problema de la falta de cama para un paciente que la requiera.

En 1993, Teres [24] planteaba como uno de los grandes dilemas éticos una situación a la que denominó “**el ritual de la última cama**”. Esta situación se produce cuando la ocupación de la Unidad está casi al límite, y los Servicios de Medicina Intensiva deben

decidir sobre el ingreso de un nuevo paciente. Ante la falta de camas, se derivan varias consecuencias, entre ellas la suspensión de cirugías programadas, el retraso de los ingresos en el servicio de medicina intensiva y el alta precoz o inadecuada de algún paciente para liberar su cama, las cuales vienen recogidas como indicadores de calidad en el enfermo crítico [25].

Los **problemas inherentes a la escasez de camas** se desarrollan en los siguientes apartados.

#### a. Triage de los pacientes ingresados en UCI

Una de las respuestas cuando una cama es requerida de forma más o menos urgente es el **traje sobre los pacientes ingresados**, es decir, aquél paciente con mejor estado clínico es trasladado a otra área del hospital con menores cuidados, con el fin de liberar una cama. Dado que la gestión de altas de UCI es complicada, este proceso de triaje se lleva a cabo no en situaciones de necesidad inminente, sino en situaciones de alta ocupación, cuando nuevos ingresos están previstos.

Un paciente podrá ser dado de alta de forma precoz si el médico que le asiste, encargado de asignarle el alta, tiene la convicción de que existen garantías para poder atenderlo en otra planta de menor asistencia, y así favorecer que otro paciente de mayor gravedad pueda beneficiarse del ingreso en UCI [26]. Se han evaluado las consecuencias de estas altas respecto a uno o varios marcadores de la evolución de los pacientes que las sufren: mortalidad hospitalaria, reingreso en UCI y duración de la estancia hospitalaria [27].

La mayoría de los trabajos publicados al respecto encuentra relación entre las altas fuera de horario y un resultado desfavorable para el paciente. Sin embargo, estudios más recientes sobre este tema, como los de Singer *et ál.* [28] o Strauss *et ál.* [29] **no encuentran relación entre alta precoz y mortalidad**, tal vez debido a que sus tasas de mortalidad son más bajas que en el resto de los trabajos y el impacto del alta precoz sobre ella sería también menor. A su vez, en los análisis de Campbell *et ál.* [30] determinan que las altas por la noche, como expresión de alta precoz, no se muestra como factor asociado a mayor tasa de ingreso o mayor mortalidad.

#### b. Triage al ingreso en UCI

Otra de las consecuencias de la alta ocupación de camas en una UCI es el **traje de los pacientes potencialmente susceptibles de ingresar**. Este hecho se ha analizado por la literatura médica desde dos puntos de vista. Por un lado, hay estudios que se centran en el **incremento de la gravedad de los pacientes ingresados cuando la disponibilidad de camas es baja**, y por otro, hay publicaciones que analizan el **resultado de los pacientes que en situaciones de mayor disponibilidad de recursos hubieran ingresado en UCI**.

Respecto al **primer punto de vista**, Sinuff *et ál.* [31] concluyen que, en situaciones de alta ocupación, los pacientes ingresados presentan mayor gravedad, reduciéndose el número de pacientes que ingresan para monitorización. Los autores plantean la posibilidad de Unidades de Cuidados Intermedios para pacientes que precisen

monitorización y cuidados menores a los suministrados en UCI, de manera que se racionalice el uso de camas de UCI.

Respecto al **segundo punto de vista** desde el que se puede examinar el triaje al ingreso en UCI, Robert *et ál.* [32] realizan un estudio sobre los pacientes a los que en una primera instancia se les niega el ingreso en la UCI. El estudio se realiza en 10 UCIs de Francia, durante un período de 45 días. Se negó el ingreso en la UCI por falta de camas, bien inicialmente o de forma definitiva, a 193 pacientes de 1332 pacientes. Se observa que la mortalidad es superior entre los pacientes que no son admitidos o los que han visto retrasado su ingreso, respecto a los que sí son ingresados en primera instancia.

Para ayudar a realizar el proceso de triaje (tanto de los pacientes ya ingresados como de los candidatos a ingresar), la **Sección de Ética de la Sociedad Europea de Cuidados Intensivos** establece unos **principios** sobre los que deben pivotar las decisiones [33]. Estos principios se fundamentan en el consenso de 37 profesionales relacionados con la Medicina Crítica, consiguiéndose el acuerdo para cada uno de los puntos debatidos con una conformidad de al menos el 80% de los participantes. Sin embargo, a pesar de estas recomendaciones y de las implicaciones del triaje, apenas existen escalas que faciliten estas decisiones [34].

### c. Traslado entre hospitales

Cuando existe escasez de camas en la UCI, surge la necesidad de **trasladar pacientes** hasta otro centro más o menos próximo donde tengan camas disponibles para poder llevar a cabo el ingreso. El traslado de los pacientes conlleva **dos tipos de problemas**. El primero es el **riesgo inherente al propio traslado**, y el segundo, es el **retraso en la adecuada atención del paciente** ocasionado por el tiempo que éste permanece fuera del hospital.

Sobre el **primer problema**, Ligtenberg *et ál.* [35] analizan en el año 2005 en Holanda los riesgos asociados al transporte interhospitalario de 100 pacientes consecutivos. Observan que en el 34% de estos traslados ocurrieron efectos adversos, de los cuales el 30% fueron debidos a problemas técnicos.

No hay artículos publicados que estudien la relación entre el resultado del paciente trasladado y el personal y equipo médico empleado en dicho traslado. En Navarra, estos transportes de pacientes críticos se realizan por personal específico para esta tarea y es altamente cualificado, por lo que se presupone que los riesgos asociados al traslado son bajos.

Sin embargo, más importante que el riesgo implícito al traslado es el **retraso que éste pueda ocasionar a la administración del tratamiento adecuado a los pacientes**. Existen patologías como el infarto agudo de miocardio, la sepsis o el ictus, en las que se hace muy necesario el tratamiento precoz. Chalfin *et ál.* [36], tras analizar 50322 pacientes que requerían ingreso en UCI, concluyen que aquéllos en los que el ingreso se retrasa más de 6 horas presentan mayor estancia hospitalaria y

mayor mortalidad en UCI y hospitalaria. Además de este, otros estudios reconocen un aumento de la mortalidad cuando el ingreso en UCI se demora.

#### d. Suspensión quirúrgica

Otra de las respuestas ante la falta de camas de UCI consiste en **suspender la actividad programada**, normalmente cirugías de alta complejidad. Aunque aparentemente parezca la solución más factible e intuitiva, se enfrenta a **dos problemas importantes**. Por un lado, la **posibilidad de empeoramiento de salud** e incluso fallecimiento de los pacientes en lista de espera y, por otro, la **presión administrativa** para el cumplimiento de los plazos de respuesta [37].

Aunque los pacientes a los que se les suspende la intervención pasan a estar en una posición prioritaria en la lista de espera, no implica que ellos mismos o pacientes en posiciones posteriores en la lista no tengan un riesgo adicional para su salud. Un ejemplo de este hecho se muestra en el trabajo de Sobolev *et ál.* [38] sobre la evolución de 12030 pacientes pendientes de ser intervenidos de revascularización coronaria, de los cuales 104 fallecen y 382 tienen que ser intervenidos de forma urgente.

#### e. Sobrecarga de trabajo y estrés del personal sanitario

La sobrecarga de trabajo, la no disponibilidad de camas, que se traduce en un recambio rápido de pacientes, y las situaciones en las que el triaje de pacientes es necesario son factores que se han asociado a un **mayor nivel de estrés** entre el personal médico de la UCI [39-41].

Diferentes estudios realizados asocian este estrés con los errores médicos. Valentin *et ál.* [42] realizan un amplio estudio en 113 Unidades de 27 países acerca de los errores cometidos en la administración de drogas por vía parenteral. Observan una tasa de errores de 74,5 eventos por cada 100 pacientes y día (intervalo de confianza al 95%: 69,5 - 79,4). La mayor parte de estos errores se deben a la no administración del medicamento o suministrados en horario equivocado, aunque el 0,9% de los pacientes estudiados fallecen o presentan daño permanente a causa del error. En el 32% de los errores cometidos, los trabajadores reconocen sobrecarga de trabajo, estrés o fatiga.

En conclusión, ante una situación base en la que el personal médico sufre estrés, la **sobrecarga de trabajo** y la **escasez de camas** suponen un **factor adicional de estrés**. En estas situaciones, son más frecuentes los errores médicos, que se traducen a peores resultados de los pacientes ingresados en UCI.

## 2.2. SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Para poder entender mejor el desarrollo del simulador, conviene explicar algunas nociones teóricas acerca de la simulación en general. Por lo tanto, en este apartado se introducen las principales herramientas y técnicas matemáticas que se utilizarán para la construcción del modelo de simulación.

### 2.2.1. Modelos de colas

El funcionamiento de una UCI puede describirse mediante un modelo de colas. Por ello, en este apartado se realiza una introducción a la teoría de colas, describiéndose sus principales características.

#### a. Introducción

La **teoría de colas** se encarga del estudio de los fenómenos de las líneas de espera originadas cuando los individuos pertenecientes a una determinada población llegan, de forma generalmente aleatoria, a uno o más centros de servicio, teniendo que esperar para recibir servicio cuando los servidores están ocupados. El tiempo invertido por un servidor en ofrecer el servicio demandado también puede variar de un cliente a otro (en el caso de una UCI se hablaría de pacientes en vez de clientes).

El estudio matemático de las líneas de espera se inicia a partir del trabajo de Erlang, en 1909, que trataba de **predecir el comportamiento del sistema de tráfico telefónico** teniendo en cuenta que había que proporcionar servicio, atendiendo una demanda que se comportaba aleatoriamente, y que debía evaluar el número de líneas necesarias para mantener el número de conexiones perdidas (a causa de la congestión) en una magnitud razonable. Desde entonces, son muchos los trabajos de investigación desarrollados y muchas sus aplicaciones: cajeros automáticos, servicio de atención telefónica, parques temáticos, supermercados, aeropuertos, hospitales, redes informáticas, una ventanilla de reclamaciones, bancos, sistemas de reparación, ascensores, carga y descarga en un puerto, etc.

Una **característica** esencial de los modelos de colas es la **presencia de la incertidumbre**, por ejemplo, en el proceso de llegadas de clientes y en los tiempos de servicio. En consecuencia, la **probabilidad y la estadística son fundamentales** para el análisis de los fenómenos asociados a las líneas de espera. La valoración del funcionamiento de un servicio debe contemplar la perspectiva del cliente, considerando cuestiones como el tiempo medio en cola, la probabilidad de esperar más de una cierta cantidad de tiempo, etc., y también la perspectiva del coste y eficiencia del servicio, a través de la tasa de ocupación de los servidores, número medio de servidores ocupados, etc. El análisis de estas cuestiones permite el análisis de diversas configuraciones y alternativas para el servicio y, por tanto, para la toma de decisiones que permitan su buen control y mejora.

#### b. Características

Los siguientes elementos caracterizan un sistema de colas:

- **Servidores:** Cada una de las unidades que proporciona un servicio. Pueden ser personas, pero también máquinas (en procesos de producción), camas (en hospitales y UCIs), equipos médicos (en quirófanos), etc.
- **Población de clientes:** Conjunto de entidades (personas, máquinas, informes, ficheros, etc.) susceptibles de recibir el servicio. En los problemas reales la población de clientes suele ser finita. Sin embargo, si su tamaño es

suficientemente grande conviene considerarla infinita a todos los efectos, pues el análisis del modelo se simplifica sustancialmente.

- **Proceso de llegadas:** Describe el modo en el que los clientes demandan el servicio. Habitualmente se representa modelando el tiempo que transcurre entre dos llegadas consecutivas de clientes. Si no se especifica lo contrario, se supone que los clientes llegan individualmente, pero puede ocurrir la llegada de clientes de forma simultánea (por ejemplo, a un restaurante). En este último caso también es necesario modelar el tamaño del grupo de clientes en las sucesivas llegadas. Como se verá más adelante, la distribución de probabilidad exponencial se suele utilizar para representar los tiempos entre llegadas consecutivas, cuando estas se producen de forma individual y mediante un mecanismo “aleatorio no organizado” (como ocurre con las llegadas que se producen en una UCI).
- **Capacidad del sistema:** Máximo número de clientes que pueden estar simultáneamente en el sistema. Particularizando a la UCI sería el número máximo de pacientes que pueden estar simultáneamente en ella, limitado normalmente por el número de camas de la Unidad. Cuando se alcanza este número máximo de clientes en el sistema si un cliente nuevo demanda servicio éste es rechazado por el sistema. El sistema puede tener capacidad finita o infinita. Aquí ocurre como con el tamaño de la población. Si el sistema tiene una capacidad suficientemente grande es mejor considerarla como infinita, puesto que en la mayoría de las situaciones el análisis matemático se simplifica.
- **Mecanismo de servicio:** Describe en qué modo se presta el servicio (de forma individual, a grupos, etc.) y la duración del servicio que habitualmente es modelado como una variable aleatoria.
- **Disciplina de la cola:** Es el procedimiento mediante el cual los clientes son seleccionados de la cola para ser atendidos (en el caso de una UCI, es improbable que haya cola, pero si existen pacientes en ella, se ingresan por orden de llegada).

### c. Modelos de colas Markovianos.

Los modelos de colas **Markovianos** están caracterizados por llegadas de clientes de acuerdo con un **proceso de Poisson** (tiempos entre llegadas consecutivas de clientes distribuidos según una distribución exponencial) y por tiempos de servicio aleatorios con **distribución exponencial**. Tanto la tasa de llegada de clientes como la tasa con la que se presta servicio puede depender del estado del sistema, esto es, del número de clientes que en ese momento se encuentran en el sistema de colas. Debido a la importancia de la distribución exponencial en estos modelos, a continuación, se presentan alguna de sus principales características.

Una variable aleatoria  $T$  tiene una **distribución de probabilidad exponencial** si su función de densidad es:

$$f_T(t) = \begin{cases} \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t} & \text{si } t \geq 0 \\ 0 & \text{si } t < 0 \end{cases} \quad (1)$$

con  $\lambda$  = promedio de eventos por unidad de tiempo.

Su **función de distribución** es:

$$F_T(t) = P\{T \leq t\} = 1 - e^{-\lambda \cdot t} \quad (2)$$

Como ejemplo, un evento que tiene un promedio de ocurrencia de una vez cada cuatro horas ( $\lambda = 0.25$ ), la probabilidad de que ocurra el siguiente evento antes de una hora ( $t = 1$ ) es:

$$F_T(1) = P\{T \leq t\} = 1 - e^{-0.25 \cdot 1} = 0.2212, \text{ es decir, } 22,12 \%. \quad (3)$$

A partir de la expresión para la función de densidad se extraen algunas de sus **propiedades** más importantes:

- **La función de densidad es estrictamente decreciente en  $t$  ( $t \geq 0$ ):**

$$P\{0 \leq T \leq s\} > P\{t \leq T \leq t + s\} \quad \forall t, s > 0 \quad (4)$$

- **Propiedad de ausencia de memoria:**

$$P\{T > t + s | T > t\} = P\{T > s\} \quad (5)$$

Con esta última propiedad, se demuestra que el tiempo que falta para ocurrencia del siguiente evento, es totalmente independiente del tiempo que ha transcurrido desde la ocurrencia del evento anterior. Es decir, no influye a la hora de calcular la probabilidad.

El análisis probabilístico de modelos de colas exige la asunción de hipótesis simplificadoras que puedan alejar el modelo del sistema real que describe. Por ello, sistemas reales en los que hay procesos de llegadas distintos al Poisson y con tiempos de servicio no exponenciales y además dependientes del estado del sistema, deben ser analizados mediante simulación debido a las limitaciones de los análisis de probabilidad.

### 2.2.2. Introducción a la simulación

La **simulación** es “el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y realizar experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o de evaluar diferentes estrategias para el funcionamiento del sistema” (Shanon [43]). Por lo tanto, es una **herramienta matemática útil y potente** para el análisis de sistemas reales. Además, permite introducir incertidumbre.

Es importante tener clara la **diferencia entre sistema y modelo**. El **primer término** es un **conjunto de elementos** que interactúan entre sí con el fin de alcanzar un objetivo. Sus principales componentes son las entidades u objetos de interés, atributos y propiedades que lo definen. En cuanto al **segundo término**, se trata de una **abstracción/simplificación** del sistema que se utiliza como un sustituto del propio sistema.

Normalmente se realizan aproximaciones de manera que el estudio del modelo resulte más fácil, rápido y económico que el del sistema real. Por lo tanto, **el modelo no debe ser exactamente igual**, pero sí debe ser útil para poder dar respuesta a las preguntas acerca del sistema real. Si el modelo es suficientemente sencillo, se utiliza un análisis matemático para obtener soluciones exactas. Sin embargo, lo corriente es trabajar con sistemas complejos que requieren modelos complejos, en los que los métodos analíticos no son válidos. Es en estos casos cuando se hace necesaria la utilización de la simulación.

La simulación presenta las siguientes **ventajas**:

- Aporta **flexibilidad** para modelizar las cosas como son (incluso si son confusas y complicadas).
- Permite **incertidumbre y no estacionariedad** en la modelización.
- Se aprovecha de los **rápidos avances informáticos**, los cuales favorecen los avances en el software de simulación.

Sin embargo, el uso de la simulación también tiene ciertas **desventajas**:

- No proporciona soluciones exactas, tan solo **aproximaciones**.
- Se obtienen **resultados aleatorios** a partir de simulaciones estocásticas.
- En algunas ocasiones se hace un **uso incorrecto de la simulación**, ya que, si existe un modelo analítico válido, este es preferible a la simulación.

En cuanto a los diferentes **tipos de simulación**, éstos se pueden clasificar atendiendo a tres criterios:

- **Estáticos/Dinámicos**: En función de si el sistema representado es independiente del tiempo o no.
- **Continuos/Discretos**: Dependiendo de si los cambios en los estados del modelo pueden producirse en cualquier momento, o sólo en momentos concretos. Basta con que una de las variables sea continua para que el modelo lo sea.
- **Determinísticos/Estocásticos**: En función de si es todo conocido con exactitud o si hay elementos aleatorios.

### 2.2.3. Simulación de eventos discretos

El concepto de sistema de evento discreto tiene por finalidad representar sistemas en los que los eventos que cambian el estado del mismo ocurren en **instantes espaciados en el tiempo**, a diferencia de los sistemas cuyo estado puede cambiar continuamente en el tiempo. El modelo que representa la evolución de una UCI en el tiempo es **dinámico, discreto y estocástico**, el cual se incluye en la categoría de eventos discretos. A continuación, se muestran las características que presentan este tipo de sistemas.

### a. Componentes del modelo

Los **elementos** que hacen que la simulación pueda avanzar de manera adecuada son los siguientes:

- **VARIABLES DE ESTADO:** Proporcionan una **descripción completa del sistema simulado**. Conociendo su valor en un instante de tiempo  $t$ , permite saber la situación del sistema en ese momento. El valor de estas variables se va modificando en momentos puntuales a lo largo del tiempo. Ejemplos de variables de estado son el número de clientes que están esperando en un instante  $t$ , o el número de servidores que están ocupados en un instante  $t$ .
- **Eventos:** Su función es **modificar el valor de las variables de estado**. Por lo tanto, cada evento debe tener asociada una etiqueta con la que se pueda identificar el tipo de evento, y así determinar el cambio que se tiene que producir. Ejemplos de eventos son la llegada o salida de un cliente en el sistema. Además, debe existir un evento que indique el final de la simulación, para determinar el momento en el que la simulación se tiene que detener.
- **Reloj de la simulación:** Consiste en una variable que **indica el tiempo que ha transcurrido en la simulación del modelo**. Los eventos indican el momento en el que las variables de estado se modifican. Esto implica que, entre dos eventos consecutivos, todas las variables de estado permanecen constantes, y en el sistema no ocurra nada relevante. Por lo tanto, el reloj no avanza de manera continua, sino que su valor se actualiza en el momento en el que se produce un evento.
- **Calendario de eventos:** Es un vector que almacena un evento de cada tipo, y **especifica para cada evento el siguiente instante en el futuro en el que éste se va a producir**. El valor mínimo de los tiempos almacenados en el calendario de eventos, indica el instante próximo en el que va a ocurrir un evento, y ése será el nuevo valor que tome el reloj de la simulación.

### b. Contadores estadísticos

Los **contadores estadísticos** sirven para analizar cómo funciona el sistema y poder obtener medidas de la simulación. Estos contadores no interfieren en absoluto en la dinámica de la simulación, sólo son observadores. Al final de la simulación **se utilizan para obtener medidas de rendimiento**.

Algunos ejemplos de contadores estadísticos son el número total de clientes atendidos, el tiempo de espera máximo de un cliente, el número máximo de clientes en la cola y el tiempo medio de espera de los clientes en la cola. Como se ve, existen muchas posibilidades, y la forma de obtener cada uno de ellos es diferente en cada caso.

### c. Avance de la simulación

De forma general, los modelos de simulación de eventos discretos funcionan de la siguiente manera. En primer lugar, se **inicializa el sistema** con el reloj de la simulación a cero, se establecen los valores iniciales para las variables de estado y los contadores estadísticos, y se determinan los valores del calendario de eventos.

A continuación, se calcula el **instante del futuro más cercano** en el que va a ocurrir un evento y se avanza el reloj de la simulación hasta ese instante. En función del tipo de evento ocurrido, se actualizan las variables de estado correspondientes y se actualiza el calendario de eventos con nuevos instantes para este tipo de evento. Por ejemplo, si se ha producido una llegada de un cliente, se debe generar un instante de tiempo en el que se produzca la siguiente llegada del próximo cliente, y se añade al calendario de eventos. A su vez, se **actualizan los valores de los contadores estadísticos**.

Si el evento ocurrido **no indica el final** de la simulación, **se vuelve a calcular el siguiente valor más próximo del futuro** del calendario de eventos, y de nuevo, se actualiza tanto el reloj como todas las variables. En **caso contrario**, se procede a la **finalización de la simulación**, obteniendo los resultados finales de los contadores estadísticos para analizarlos estadísticamente y poder extraer conclusiones.

En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo correspondiente a un modelo de simulación de eventos discretos.

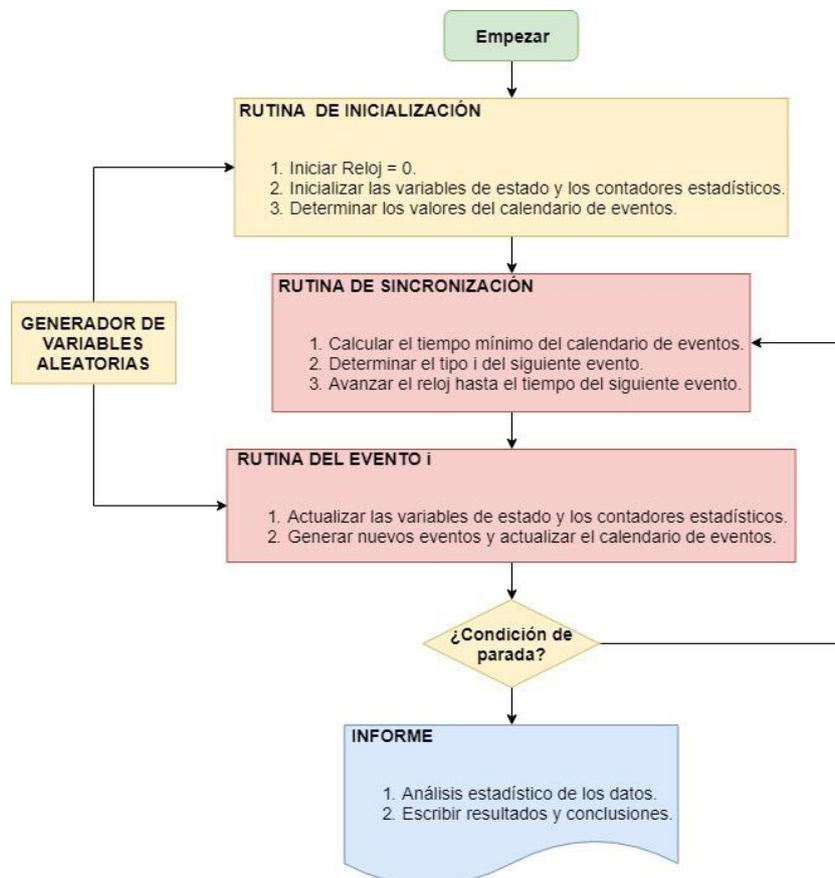


Figura 1. Diagrama de flujo de un modelo de simulación de eventos discretos.

## 3.METODOLOGÍA

Una vez recopilada la información teórica, es cuando se debe pasar a la práctica, y así poder desarrollar una metodología válida para la construcción del simulador.

### 3.1. MODELADO DE UNA UCI

Una **Unidad de Cuidados Intensivos** se puede modelar matemáticamente como un **modelo de colas**, en la que no existe sala de espera. Los individuos de una determinada población acuden a ella de manera aleatoria para requerir de sus servicios y el tiempo de servicio varía en función de la persona atendida. Por lo tanto, se ajusta bien a la definición dada en el apartado 2.2.1.

Para completar este modelado, es necesario contextualizar en el ámbito de una UCI todos los elementos asociados a un modelo de colas:

- **Servidores:** Cada una de las **camas** de la UCI en la que se aloja un paciente y se le proporciona los cuidados adecuados.
- **Población de clientes:** Conjunto de **personas susceptibles de ingresar** en una UCI, es decir, toda la población de la región a la que da soporte la Unidad.
- **Proceso de llegadas:** En una UCI se producen dos tipos de llegadas, ya que por un lado se tienen las cirugías programadas, y por otro, las llegadas de los pacientes urgentes. Más adelante, en los apartados 3.3.2. y 4.2., se indica que estos últimos siguen un **proceso de llegadas de tipo Poisson**, a diferencia de los primeros, cuyo proceso es algo diferente.
- **Capacidad del sistema:** Suponiendo que en la UCI no exista sala de espera, ya que los pacientes ingresados requieren de cuidados inmediatos, la capacidad del sistema la determina el número de camas que presenta la Unidad, ya que ese sería el **máximo número de pacientes que pueden estar simultáneamente en el sistema**. Sin embargo, algunas UCIs precisan de un área reservada para ingresos muy urgentes, donde el paciente espera cierto tiempo hasta que una cama es liberada. Por lo tanto, la capacidad del sistema sería algo mayor en esos casos, aunque se debe evitar llegar a esa situación.
- **Mecanismo de servicio:** Dado que una cama de la UCI es ocupada por un único paciente, el servicio se presta de forma **individual**, durante un tiempo que es diferente para cada paciente, dependiendo de la enfermedad del paciente y de sus características personales.
- **Disciplina de la cola:** Teniendo en cuenta que en las UCIs no hay sala de espera donde se puedan acumular una gran cantidad de pacientes, éstos son **atendidos en función del orden de llegada**. No existe una prioridad para la selección del siguiente paciente, en todo caso se podría rechazar la entrada de un paciente, o anular una intervención quirúrgica.

## 3.2. SIMULADOR

Como ya se ha comentado anteriormente, lo que se persigue en este proyecto es poder realizar un análisis de las decisiones tomadas por varios médicos sobre el alta de pacientes en las mismas condiciones y en una multitud de escenarios diferentes. Para ello, es necesaria la implementación de un simulador.

### 3.2.1. Justificación

En la práctica real, aunque haya diferencias en las opiniones individuales de cada médico, finalmente se implementa una **única decisión**, lo que imposibilita observar los efectos que habría tenido una decisión distinta y compararla con la que se ha implementado.

Por otra parte, la recogida de esta información en un **entorno real** resulta **inviable**, debido a la dificultad que requiere reunir repetidamente a varios médicos para discutir sobre las necesidades del alta de los pacientes. Además, en caso de realizarse, aparte de que la recogida de información resultaría **demasiado lenta**, no se podrían modificar los niveles de los diferentes factores que influyen para conocer la magnitud de su influencia.

Con estas premisas, se va a diseñar e implementar computacionalmente un **simulador dinámico** para generar escenarios similares a los encontrados en una UCI real, con el fin de poder analizar las diferencias en la toma de decisiones. Estos escenarios serán gestionados de una forma interactiva por distintos médicos de la UCI.

De forma esquemática, el simulador presentará al personal médico los diferentes pacientes que en un momento puntual estuvieran ocupando la Unidad. Este personal **decidirá qué pacientes son dados de alta y cuáles no**. A su vez, el usuario del simulador podrá decidir si se le **niega el ingreso** a un paciente por falta de camas, ya sea procedente de cirugía o no, o si se le **asigna un alta precoz** a un paciente. Para ello, es necesario definir la situación de los pacientes según su grado de enfermedad, basado en parámetros clínicos.

### 3.2.2. Características

Idealmente, el simulador debe generar un **entorno familiar** casi indistinguible del que se encuentran los médicos de la UCI a la hora de consultar las pantallas de seguimiento de los datos de los pacientes ingresados. Para conseguir este nivel de semejanza, el simulador debe presentar las siguientes características:

- El simulador **generará llegadas de pacientes urgentes y procedentes de cirugías programadas** según los patrones de llegadas observados en la realidad.
- Para cada paciente, mostrará **información clínica suficiente** para la toma de decisiones acerca del alta. En concreto, se visualizará información acerca de los antecedentes personales del paciente, motivo del ingreso, valores de

monitorización general y de monitorización por sistemas (el listado de variables mostrado por la aplicación se incluye en el Anexo A). También se mostrará la información de las cirugías programadas en los siguientes días. La información mostrada para cada paciente simulado corresponde a un historial de un paciente real, que ha sido completamente anonimizado y simplificado. La pantalla que se pretende imitar para facilitar la visualización de los datos de cada paciente se muestra en la Figura 2.

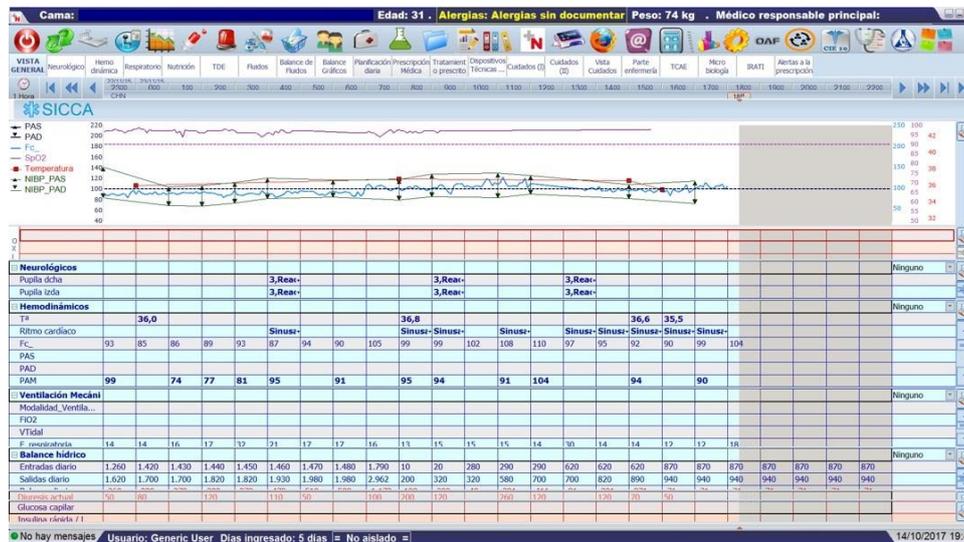


Figura 2. Pantalla de consulta real de datos de pacientes.

- El simulador **avanzará en el tiempo generando los eventos** más característicos que modifican el estado de ocupación de una UCI (llegadas, fallecimientos...) y evolucionará el estado de salud de cada uno de los pacientes ingresados (constantes vitales, parámetros analíticos, medidas de soporte vital, medicaciones, complicaciones, procedimientos, etc.). En los momentos que pare la simulación por la ocurrencia de algún evento el simulador interactuará con el usuario (médico) esperando instrucciones acerca de posibles altas o ingresos de pacientes. El simulador irá actualizando el estado de la UCI conforme a las decisiones tomadas por el usuario y continuará avanzando el tiempo hasta el siguiente evento.
- El simulador será capaz de simular el **mismo escenario** (secuencia idéntica de llegadas de pacientes y con la misma tipología) para que pueda ser evaluado por distintos usuarios.
- El simulador podrá ofrecer **diferentes escenarios** (variando el nivel de ocupación de camas, el porcentaje de cirugías programadas, el número de camas...) para poder cuantificar la influencia de cada modificación en la gestión de camas. Por lo tanto, el simulador tendrá la suficiente flexibilidad para poder definir diferentes UCIs con características distintas.
- El simulador contará con un sistema de **recogida de información** acerca de las decisiones tomadas por los médicos que permita su comparación y responder a todos los objetivos planteados anteriormente.

### 3.3. NECESIDAD DE INFORMACIÓN

La efectividad del simulador para valorar la variabilidad en la toma de decisiones sobre el alta depende de la **calidad con la que pueda reproducir la evolución de una UCI real**. Por eso, es imprescindible realizar una recopilación de información adecuada antes de construir el simulador. Por un lado, debe quedar claro el funcionamiento real de una UCI ya que es lo que se va a reproducir durante la simulación, y por otro, se debe extraer la máxima cantidad de datos de pacientes para poder incluirlos en la aplicación.

#### 3.3.1. Funcionamiento de una UCI

Con la ayuda del personal médico de la UCI del Complejo Hospitalario de Navarra se ha podido extraer el modo en el que se suceden las situaciones en las que los médicos tienen que tomar alguna decisión, y las diferentes alternativas que existen en cada una de ellas. Aunque se ha considerado esta Unidad a modo de ejemplo, en general la mayoría de las UCIs funcionan de una manera similar. De todos modos, el simulador permitirá modificar ciertos parámetros de funcionamiento para no perder generalidad.

##### a. Toma de decisiones

**Todos los días**, los médicos se reúnen por la mañana y por la tarde en lo que se conoce como **sesión clínica**. Es ahí cuando analizan los pacientes que están ingresados en ese momento en la UCI y deciden a quiénes se les asigna el alta. También plantean posibles pacientes a los que se les daría el alta en el caso de tener que realizar un ingreso inmediato y no hubiese camas disponibles.

A su vez, en la sesión clínica de la mañana, pero sólo de **lunes a viernes**, **gestionan las cirugías** que se van a realizar ese día (el fin de semana no hay operaciones quirúrgicas). Además de conocer el tipo de operación de cada paciente, se les indica si se realiza por la mañana o por la tarde. Si existen **camas suficientes** para los pacientes procedentes de cirugía, se **confirman** todas las **intervenciones**. Sin embargo, cuando hay **más pacientes en la lista de cirugías que camas libres**, los médicos deben decidir si **suspender alguna cirugía**, o **anticipar el alta** a un paciente.

Esta **programación quirúrgica** se configura cada **viernes**, y proporciona la información de las cirugías que están programadas de lunes a viernes de la semana siguiente. Por lo tanto, cuando llega un viernes, se actualiza la programación quirúrgica, y el personal médico conoce las cirugías de ese viernes (ya estaban programadas desde el viernes anterior) y de toda la semana siguiente. Considerando otro día de la semana, por ejemplo, un miércoles, sólo se conocen las cirugías programadas de ese miércoles y de los dos siguientes días (jueves y viernes).

##### b. Procedimiento de ingresos y altas

Por otra parte, cada vez que se produce una **llegada de un paciente urgente** a la UCI, el personal médico debe **decidir si se ingresa o no**. Normalmente, en la UCI hay

suficientes camas libres, y el paciente ingresa sin problemas. Pero si se da el caso de que todas las camas están ocupadas, o si alguna de las que está libre se ha reservado para un paciente procedente de una cirugía se produce otro conflicto. En este caso se debe decidir si se le niega el ingreso al paciente, o si se le ingresa, a qué paciente se le asigna el alta. Además, en el caso de que se ingresara al paciente, no se produciría de forma inmediata, y el paciente debería esperar a que una cama se liberase.

Esta última situación de ingreso inmediato sólo se permite en un intervalo horario adecuado para poder dar de alta a un paciente de manera precipitada. Si esta situación se produce en un momento en el que los médicos consideran que no se puede dar de alta a ningún paciente (por ejemplo, a las 3 de la mañana), no se considera esta posibilidad. En el simulador, se debe configurar el horario en el que se permitirán este tipo de decisiones.

Otro motivo para asignar el alta a un paciente, aunque no es lo habitual, es la **alta ocupación**. En situaciones en las que al día siguiente hay varias cirugías programadas, y la UCI está casi completa, se puede tramitar el alta de un paciente, aunque no se le haya asignado en las sesiones clínicas. Al igual que antes, se determina un intervalo horario adecuado en el que sea posible realizar este tipo de altas.

### c. Proceso de alta

Otro aspecto importante a tener en cuenta en el funcionamiento de una UCI es la **duración de los tiempos** que transcurren desde que se le asigna el alta a un paciente hasta que la cama está disponible para ser utilizada por otro paciente. Este proceso se puede dividir en dos partes.

En primer lugar, se considera el **tiempo** que le cuesta al paciente **abandonar la cama** desde el momento en el que se le asigna el alta. Se distingue, por un lado, si el sistema requiere un desalojo rápido porque todas las camas están ocupadas y existe un ingreso inminente, situación en la cual el tarda en torno a una hora en abandonar la UCI. Por otro lado, si no existe esa urgencia, el paciente suele demorarse unas tres o cuatro horas para realizar todo el proceso de abandono con tranquilidad.

En segundo lugar, se considera el **tiempo de limpieza** de las camas utilizadas, proceso que se realiza tras el abandono de la UCI por parte del paciente. En este caso siempre se suele tardar entre media hora y una hora.

### d. Flujo de información

Por último, en cuanto a las notificaciones o avisos que reciben los médicos cada día en la UCI están por un lado los **comunicados de fallecimiento** de algún paciente y por otro, la llegada de los **informes médicos, informes de enfermería, analíticas o gasometrías** de los pacientes.

En el primer caso, después de comunicar el **fallecimiento**, se realiza la **evacuación del paciente y posterior limpieza de la cama**. Los **tiempos de evacuación** son algo **menores** a los comentados sobre el alta de los pacientes, es decir, la velocidad de

evacuación de los pacientes fallecidos se realiza con mayor velocidad, con una duración de entre media hora y una hora, al igual que la limpieza de las camas.

En el segundo caso, los **informes médicos y de enfermería** se redactan **cada día**, de manera que se pueden acceder a ellos a partir de la primera sesión clínica. Por su parte, si se realiza alguna **gasometría o analítica** a algún paciente, algo que no ocurre todos los días, se obtienen los resultados **a lo largo de la mañana**, a **excepción del día del ingreso**, cuyos resultados se obtienen horas después del mismo en caso de realizarse las pruebas.

### 3.3.2. Datos de pacientes

El simulador utilizará la información clínica de **pacientes reales** (totalmente anonimizada) que han ingresado en la UCI, por lo tanto, es necesario imitar el **patrón de llegadas** de estos a la UCI y la **evolución del estado de salud** de cada paciente, mostrando los principales indicadores clínicos en los que se fundamenta la toma de decisiones.

Para obtener el patrón estadístico de llegadas de los pacientes, se precisa disponer de una **muestra relativamente grande de tiempos de llegada** de pacientes clasificados según el motivo de ingreso (tipo de paciente, definido en el Anexo A). Además, se necesita conocer el modo en que se programan las cirugías electivas. Estos datos ya fueron tratados estadísticamente, para ajustar procesos estadísticos de llegada, por los profesores de la Universidad Pública de Navarra Fermín Mallor y Cristina Azcárate [44]. En su investigación demuestran que el **proceso de llegadas de los pacientes urgentes** se ajusta a un **proceso de tipo Poisson**, mientras que los **pacientes provenientes de cirugía** siguen una **distribución de probabilidad discreta** para cada día de operación.

A la hora de mostrar los datos clínicos, es necesario seleccionar una **muestra representativa de pacientes reales**, con la información relevante acerca de la evolución de su estado de salud durante su estancia en la UCI (conjunto de variables recogidas en el Anexo A). Para esta primera versión del simulador, un número adecuado para dicha muestra se ha calculado en torno a **100 pacientes** obtenidos de forma consecutiva a partir de una fecha de la base de pacientes del MetaVision® (iMD Sof, Tel Aviv, Israel). Metavision® es un sistema de Información Clínica Electrónica o Sistema de Gestión de Datos del Paciente, recientemente implementado en el Servicio de Medicina Intensiva del Complejo Hospitalario de Navarra. Dicha plataforma recoge todos los datos de la evolución de un paciente de UCI: parámetros de monitorización clínica, medidas de soporte instrumental, medicaciones y datos analíticos y microbiológicos.

Cabe señalar que **la información que se necesita es totalmente anónima**, puesto que se desear reproducir la evolución de la enfermedad, pero no del enfermo concreto. El trabajo es solamente un tratamiento de datos anonimizados, sin requerir procedimientos invasivos, ni manipulación de paciente alguno. Únicamente se necesita conocer, al margen de parámetros y tratamientos clínicos, la edad en el momento del



ingreso (no así la fecha de nacimiento) y el sexo del paciente. Para ello, se obtendrá el **conjunto de datos de cada paciente** de la muestra de la base de datos de MetaVison® **ya anonimizados** (los datos no pueden asociarse a una persona identificada o identificable por haberse destruido el nexo irreversiblemente con toda información que identifique al sujeto, como nombres y apellidos, fechas de nacimiento, números de historia, profesionales que atienden al paciente, domicilios, teléfonos, códigos del centro de salud o geográficos...).

Estos **datos** se almacenarán en archivos Excel y Word, desde donde **serán leídos por el simulador**. Tras la obtención de los datos, será **imposible** realizar procesos inversos que permitan **desanonimizar** los datos y con ello identificar a los pacientes. Además, se llevarán a cabo medidas de seguridad, de índole técnica y organizativa, que garanticen la seguridad de los datos y eviten su alteración, pérdida, tratamiento o acceso no autorizado de acuerdo con el Título VIII del Reglamento de desarrollo de la Ley Orgánica de Protección de Datos, aprobado por el Real Decreto 1720/2007, de 21 de diciembre. En cuanto al tratamiento de los mismos, se hará conforme a la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal.

En este proyecto **no será necesario**, dada la naturaleza del mismo y el tratamiento de los datos, **solicitar Consentimiento Informado**, ya que la base de datos se va a obtener de forma anonimizada, que el tratamiento de los mismos se hará conforme a la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal, y que no habrá forma de realizar una trazabilidad desde los datos hacia los titulares concretos.

## 4. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Para llevar a cabo la construcción del modelo de simulación se ha utilizado **NetBeans**, un entorno de desarrollo integrado libre hecho principalmente para el lenguaje de programación **Java**. Gracias a esta herramienta, se ha podido programar todo lo necesario para el correcto funcionamiento del simulador, y además ha facilitado la configuración de ventanas emergentes con las que el usuario puede interactuar cómodamente durante el manejo del programa.

A continuación, se van a desarrollar todas las partes que se han tenido en cuenta para la **construcción del simulador**, las cuales se han implementado en el programa. La explicación del modelo matemático se acompaña de cómo se ha implementado computacionalmente, por lo que se va a dar una **visión simultánea**.

### 4.1. ELEMENTOS DE LA SIMULACIÓN

El **modelo de simulación de una UCI** se corresponde con el modelo de **simulación de eventos discretos**, cuyas características se han explicado en el apartado 2.2.3. El modelo implementado en el simulador, si bien es dinámico y discreto, no es del todo estocástico, ya que se utilizan datos históricos de pacientes, y, por ejemplo, la estancia de los mismos en la Unidad ya viene predeterminada. Sin embargo, esto no afecta para el desarrollo de la simulación, porque la mayor parte de tiempos necesarios se generarán aleatoriamente.

#### 4.1.1. Variables de estado

Las variables de estado son las que determinan la situación del sistema en un instante concreto del tiempo. En este modelo de simulación se pueden distinguir **tres tipos**, dos que hacen referencia tanto al estado de las camas como al de los pacientes, y un tercero más cuantitativo que indica el número de pacientes pendientes de ingresar.

##### a. Estado de las camas

A lo largo de la simulación, la **situación de las camas** de la UCI se va modificando, ya que éstas pueden estar libres o albergar a algún paciente. A primera vista puede parecer que distinguiendo entre cama libre y cama ocupada puede ser suficiente para el desarrollo de la simulación. Sin embargo, se han tenido que considerar más estados para el correcto funcionamiento de la misma.

Antes de describir cada uno de los estados, se van a diferenciar **tres tipos de camas**. Las **primeras** serían las que se consideran **propiamente de la UCI**, es decir, aquellas en las que se les puede dar un soporte adecuado a los pacientes ingresados. En **segundo lugar**, están las camas en las cuales, de manera excepcional, los **pacientes** tienen que **esperar** a que se libere una cama de las primeras para poder

realizar el ingreso. Por **último**, se consideran las **camas de las cirugías**, en las cuales se realizan las intervenciones a los pacientes que las requieren.

Las primeras camas mencionadas, sí que van a ir modificando su estado como tal, ya que son camas que están fijas en la UCI, y lo que interesa es saber su estado en todo momento. Las otras, en cambio, sólo se utilizan para contabilizar el número de pacientes presentes en esas dos situaciones.

#### Estados de las camas propias de la UCI:

- **Cama libre:** Indica que la cama se encuentra completamente **disponible** para el ingreso de un paciente (primer tipo de cama). Se identifican con el color **blanco**.
- **Cama con paciente fallecido:** Indica que en la cama se encuentra un paciente que acaba de **fallecer**. Se identifican con el color **marrón**.
- **Cama con paciente grave:** Indica que en la cama se encuentra un paciente que se considera **grave** como para poder darle el alta. Los pacientes situados en estas camas **no podrán ser dados de alta**. Se identifica con el color **rojo**.
- **Cama con paciente estabilizado:** Indica que en la cama se encuentra un paciente **estabilizado** el cual se considera **susceptible de ser dado de alta** (en el apartado 4.1.2. se desarrolla el concepto de paciente estabilizado). Estos pacientes podrían ser dados de alta en el caso de alta ocupación. Se identifica con el color **naranja**.
- **Cama con paciente recuperado:** Indica que en la cama se encuentra un paciente que se ha **recuperado** y ya se considera que **puede ser dado de alta**. Se identifica con el color **amarillo**.
- **Cama con paciente dado de alta:** Indica que en la cama se encuentra un paciente al que ya se le ha **asignado el alta**. Se identifica con el color **verde**.
- **Cama en limpieza:** Indica que en la cama se están llevando a cabo **labores de limpieza** para acondicionarla y que se pueda servir de ella un nuevo paciente. Se identifica con el color **azul claro**.

#### Camas asociadas a la UCI:

- **Cama con paciente en espera:** Indica que hay un **paciente** que se encuentra **esperando** a que se libere una cama, es decir, a que se modifique su estado a cama libre, para poder ingresar. Se identifica con el color **gris**.
- **Cama con paciente en cirugía:** Indica que hay un paciente al que le están realizando alguna intervención, y próximamente ingresará en la UCI. Se identifica con el color **azul oscuro**.

A pesar de que se han diferenciado los tres tipos de cama para poder definir los estados, durante la simulación todas se van a tratar de la misma manera, ya que lo que interesa es conocer el número de camas en cada uno de los **estados** y no tanto la cama en concreto (internamente el programa sí detecta el estado de cada una de las

camas del primer tipo, para identificar por ejemplo dónde ubicar a un paciente que ingresa en un momento dado). Por lo tanto, el usuario puede consultar a lo largo de la simulación una tabla en la que se recoge la cantidad de camas que se encuentran en cada uno de los estados descritos. En la Figura 3 se muestra dicha tabla en un instante de la simulación.

ESTADO	CANTIDAD
CAMAS LIBRES	2
PACIENTES FALLECIDOS	0
PACIENTES GRAVES	10
PACIENTES ESTABILIZADOS	1
PACIENTES RECUPERADOS	1
PACIENTES DADOS DE ALTA	1
CAMAS EN LIMPIEZA	0
PACIENTES EN ESPERA	0
PACIENTES EN CIRUGÍA	2

Figura 3. Información acerca del estado de las camas.

Aunque en el apartado 4.1.2. se definen los eventos de la simulación, y se explica el paso de un estado de cama a otro, se considera conveniente mostrar ahora un **diagrama** que ilustre gráficamente dichos cambios de estado. Este diagrama se puede apreciar en la Figura 4.

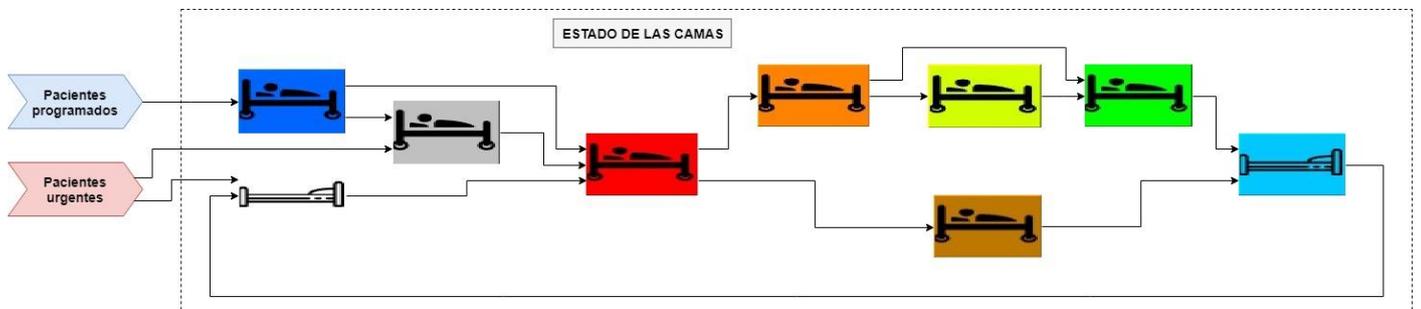


Figura 4. Diagrama del cambio de estado de las camas.

### b. Estado de los pacientes ingresados

Otra de las variables de este modelo de simulación es el **estado de los pacientes que se encuentran ingresados en la UCI**. Más que considerarse una variable como tal, son un conjunto de **270 variables**, las cuales definen la situación de un paciente en un instante en concreto (el listado completo de las variables viene recogido en el Anexo A).

A lo largo de la simulación, estas variables irán modificando su valor de manera que representen la evolución clínica del paciente en cuestión. Por lo tanto, serán un indicador importante a la hora de decidir las altas de los pacientes ingresados. Los usuarios **podrán acceder** a los valores de estas variables en el caso de todos los

**pacientes estabilizados y recuperados.** Se simplifica el volumen de información suministrada impidiendo la consulta de los datos de aquéllos pacientes que finalmente fallecen y de los que permanecen en estados grave, ya que no tiene sentido los datos de los pacientes a los que no se les va a asignar el alta.

En la Figura 5 se muestra una pantalla donde se pueden consultar los datos de un paciente. En ella, el usuario se puede mover por diferentes pestañas para visualizar los diferentes campos.

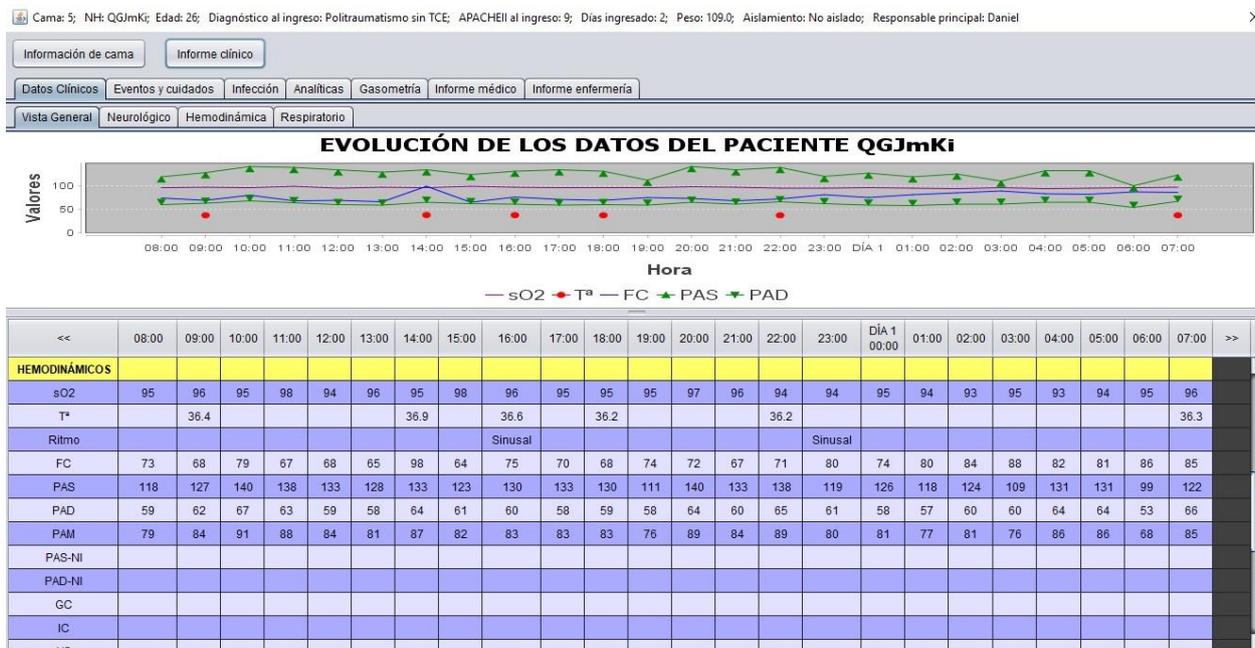


Figura 5. Información acerca de los datos de un paciente.

### c. Número de pacientes sobre los que decidir el ingreso

Por último, se considera la variable que indica el **número de pacientes sobre los que se debe decidir el ingreso** en un instante en concreto. Esta variable se divide en dos, debido a que por un lado se tratan los pacientes urgentes, y por otro, los pacientes procedentes de cirugía programada.

Los **pacientes urgentes** únicamente llegan a la UCI de forma individual, por lo que la variable asociada a éstos sólo tomará los valores de **cero y uno**. En el momento en el que se produzca la llegada de un paciente urgente su valor será uno, mientras que en el resto del tiempo su valor será cero.

En el caso de los **pacientes programados**, se decide su ingreso antes de su llegada, es decir, posteriormente todos los pacientes programados que llegan a la UCI son los que previamente se han admitido. Esta decisión se realiza en la sesión clínica de la mañana, como ya se ha explicado en el apartado 3.3.1. En ese momento se debe decidir entre todos los pacientes pendientes de intervención, a cuáles se les confirma su operación. En definitiva, la variable asociada a estos pacientes programados, indica el **número de pacientes pendientes de intervención en el momento de la sesión clínica de la mañana**.

#### 4.1.2. Eventos

Los **eventos** de la simulación son aquellos sucesos que **modifican el valor de las variables de estado**. En este modelo, se han definido dieciséis eventos diferentes, además del evento necesario para la finalización de la simulación. Antes de explicar cada uno de ellos, es conveniente realizar una clasificación previa, agrupando aquellos eventos con características comunes.

Esta clasificación considera seis grupos:

- a. **Sesiones clínicas (3 eventos):** Se incluyen aquellos eventos que hacen referencia a las **sesiones clínicas** diarias que puede haber en la UCI (mañana, tarde y noche).
- b. **Llegada de pacientes (3 eventos):** En este grupo se encuentran los eventos relacionados con cualquier tipo de **llegada de pacientes a la UCI** (urgentes, programados y en espera).
- c. **Estado de pacientes (3 eventos):** Pertenecen a este grupo aquellos eventos que **modifican el estado de los pacientes** ingresados (grave a estabilizado, estabilizado a recuperado y grave a fallecido).
- d. **Limpieza de camas (2 eventos):** Se incluyen los eventos que hacen referencia a la **limpieza de las camas de la UCI** (inicio y final de limpieza).
- e. **Datos clínicos (5 eventos):** En este grupo se consideran los eventos que permiten **simular la evolución del estado de salud** de los pacientes ingresados (informes, analíticas, gasometrías, infecciones y antibióticos).
- f. **Final de la simulación (1 evento):** Este evento se categoriza aparte puesto que es el que indica el **final de la simulación**.

A continuación, se va a describir en qué consisten los eventos de cada grupo, y a su vez, se van a explicar los procesos que desencadenan cada uno de ellos. En primer lugar, se mencionan los aspectos generales de los eventos de un mismo grupo, y posteriormente se detallan las características propias de los mismos.

##### a. Sesiones clínicas

Los eventos relacionados con las sesiones clínicas tienen asociada una hora de llegada, la cual queda definida en la configuración del escenario. Todos los días, en esas horas seleccionadas, se dan los eventos relacionados con las sesiones clínicas. Se actualiza el reloj de simulación y se escribe un mensaje indicando el tipo de sesión clínica. A su vez, se muestra una pantalla emergente en la que el usuario puede ver el tipo de la sesión clínica y el día de la simulación en el que se encuentra.

Estas sesiones clínicas representan las **reuniones diarias** que tiene el personal médico en la UCI para la discusión de la toma de decisiones. En función de la hora del día, se diferencian **tres tipos** de sesiones:

- **Sesión clínica de mañana:** En una hora comprendida entre las 5:00 y las 12:00 (dependiendo de cuál se haya seleccionado en la configuración del

escenario) se produce la sesión clínica de mañana y la simulación se detiene. **Selecciona las cirugías programadas** para ese día y habilita la posibilidad de **gestionar esas intervenciones** en el caso de que existan. Además, si esta sesión se produce en **viernes**, se **genera la programación de las cirugías de la próxima semana** (de lunes a viernes ya que el fin de semana no se realizan cirugías). En el caso de que haya que gestionar cirugías o sea necesario dar de alta a algún paciente, no se permite continuar la simulación hasta que se hayan concluido esos procesos. Al finalizar, se genera el evento de la sesión clínica de mañana del día siguiente.

- **Sesión clínica de tarde:** En una hora comprendida entre las 13:00 y las 20:00 (dependiendo de cuál se haya seleccionado en la configuración del escenario) se produce la sesión clínica de tarde y la simulación se detiene. A diferencia de la sesión clínica de la mañana, esta sesión no requiere ningún proceso específico, mas que **analizar los pacientes ingresados** para poder asignar altas. Pero no es necesario dar de alta a ningún paciente para continuar con la simulación. Al continuar la simulación, se genera el evento de sesión clínica de tarde del día siguiente.
- **Sesión clínica de noche:** En una hora comprendida entre las 21:00 y las 04:00 (dependiendo de cuál se haya seleccionado en la configuración del escenario) se produce la sesión clínica de noche y la simulación se detiene. Al igual que la sesión clínica de tarde, no se realiza ningún proceso adicional, y se puede continuar con la simulación tras **estudiar los pacientes ingresados**, habiendo asignado altas o no. Al continuar la simulación, se genera el evento de sesión clínica de mañana del día siguiente.

Existe la posibilidad de omitir tanto la sesión clínica de la tarde como la sesión clínica de la noche. Existen UCIs en las que solamente se reúnen una vez al día, y, por tanto, no es necesario incluir las otras sesiones en la simulación. La **sesión clínica de mañana**, al tratar la gestión de las cirugías programadas, **siempre está presente**.

#### b. Llegada de pacientes

Los pacientes que llegan a la UCI se distinguen por el **tipo de paciente** que llega (urgente o programado) y por el **origen de la llegada** (externa o interna). Este último concepto de externo o interno se va a entender mejor después de explicar cada evento de forma individual. Se distinguen tres diferentes:

- **Llegada de pacientes urgentes:** La llegada de un **paciente urgente** se considera **externa** a la UCI, y se produce en un **momento aleatorio** (en el apartado 4.2. se explican los procesos de llegadas). Al ser una llegada externa de paciente urgente, el **usuario debe decidir** si se ingresa o no a ese paciente. Por lo tanto, con la llegada de este evento se detiene la simulación, y después de actualizar el reloj, se inicia el proceso de decisión del ingreso. Si se niega el ingreso, el proceso acaba y se continúa con la simulación. En cambio, si se ingresa al paciente, pueden ocurrir dos

situaciones. Por un lado, si hay camas libres, el paciente se sitúa en la primera cama libre que encuentre y cambia su estado de cama libre a paciente grave. Por otro lado, si todas las camas están ocupadas, al haberlo ingresado, el programa ha detectado que se puede dar de alta a algún paciente o alguna cama se va a liberar para poder realizar el ingreso del paciente (en el caso de que no se liberase ninguna cama, sería obligatorio asignar un alta para poder continuar). En cualquier caso, el paciente no puede ingresar de una forma inmediata y debe pasar a ocupar las camas en espera disponibles en la UCI, donde se le realizan cuidados mientras se libera una cama. Para finalizar, **independientemente de si el paciente ingresa o no, se genera la próxima llegada** de paciente urgente.

- **Llegada de pacientes programados:** Al igual que el caso anterior, estas llegadas de **pacientes programados** se consideran **externas**. Sin embargo, no se realiza el proceso de aceptación del ingreso, porque son pacientes provenientes de las cirugías que **previamente** en las sesiones clínicas de mañanas ya se habían **confirmado**. Por lo tanto, no se detiene la simulación. Otra diferencia con respecto a las llegadas de pacientes urgentes es que el momento de ingreso **no se produce aleatoriamente**, sino que, al confirmar las cirugías, se genera el evento de llegada de cada cirugía confirmada, asociando la hora exacta de llegada del paciente en la vida real. Cuando se produce la llegada de estos pacientes, como ya son pacientes que van a ingresar, si tienen cama libre, se colocan en la primera cama que encuentren libre, y ésta cambia su estado de cama libre a paciente grave. Si ocurre el caso de que, a la hora de ingresar al paciente, un paciente al que se le había asignado el alta no ha abandonado la UCI a tiempo (cuando se confirman las cirugías y no hay camas libres, se asignan las altas en ese momento) o aún están terminando con el proceso de limpieza de cama, el paciente programado se sitúa en una de las camas en espera de que finalicen estos procesos comentados.
- **Llegada de pacientes en espera:** El último proceso asociado a llegadas de pacientes es el de las llegadas de **pacientes en espera**, las cuales se consideran **internas**, ya que ya están dentro de la UCI. Por esta razón, **no se produce una interacción** con el usuario para decidir sobre su ingreso y no se detiene la simulación. Los pacientes que están en espera ingresan siempre que se produce este evento. Estos pacientes son los que no han podido ingresar previamente porque la UCI estaba completa, pero aun así era necesario su ingreso. El último proceso que se realiza para liberar una cama es el de la limpieza de la cama, por lo que cuando éste finaliza, genera el evento de la llegada del primer paciente que se encuentra en las camas de espera. Esta llegada se producirá un cierto tiempo después para simular el paso del tiempo del traslado entre camas y así no ser inmediato. Con la llegada, el paciente se sitúa en la cama que ha quedado disponible y ésta cambia su estado de cama libre a paciente grave.

Estos tres eventos desarrollados presentan un **proceso común** que no se ha mencionado. En el momento en el que el **paciente** en cuestión **se sitúa en una cama de la UCI**, no las camas de espera, sino las que son propiamente de la Unidad, se **generan todos los eventos asociados a la evolución de la salud del paciente** y que ocurrirán en el futuro próximo. Estos eventos se explican en los siguientes subapartados.

### c. Estado de pacientes

Tal y como se ha definido el modelo de simulación, los pacientes ingresados en la UCI se pueden encontrar en **cuatro estados de salud diferentes** (fallecido, grave, estabilizado, recuperado). Estos estados ya se han definido en el primer apartado del punto 4.1.1. A continuación, se van a definir los eventos que provocan una modificación en los estados del paciente, los cuales son generados en el momento en el que el paciente ocupa una cama de la UCI:

- **Paciente estabilizado:** Este evento tiene lugar cuando el paciente al que hace referencia ha llegado al momento del tiempo en el que tiene un **estado de salud estable**. Un paciente estabilizado se considera aquél que presenta unas **condiciones adecuadas de salud** para poder ser dado de alta. Entre las distintas maneras en las que se puede implementar esto en el programa, se ha optado por considerar que un paciente está estable a partir del momento del tiempo en el que le quedaban tres días para ser dado de alta. Si el tiempo de estancia del paciente es menor a tres días, entonces este evento se produce cuando el paciente lleva ingresado la mitad de su estancia. Con este evento el paciente deja de estar grave y pasa a ser considerado entre los candidatos a ser dado de alta, es decir, a partir de ese instante se le **podrá asignar el alta a ese paciente**. Con este evento no se detiene la simulación, sólo se informa del momento en el que se ha producido. Después, se genera el evento de paciente recuperado para el mismo paciente.
- **Paciente recuperado:** Este evento se produce cuando el paciente al que hace referencia ha llegado a su **final de la estancia** y por tanto es considerado recuperado para darle de alta, porque en ese momento fue cuando se le dio de alta. Además, si el tipo de alta asociado a ese paciente fue un alta prevista (ver Figura 108 en el Anexo A), se le adelanta este momento de estado recuperado a la sesión clínica de mañana de ese día, porque, aunque abandonó la UCI más tarde, fue en la sesión clínica cuando le asignaron el alta. Con este evento **hay que tener en cuenta** que cuando se produzca, el **paciente** al que hace referencia **puede que ya no esté** en la UCI, porque el usuario le haya dado de alta de forma precoz. Esto puede ocurrir porque el evento es generado cuando el paciente cambia al estado estabilizado, y a partir de ese momento, se le puede asignar el alta al paciente. Por lo tanto, el paciente puede haber abandonado la Uci antes de la llegada de este evento. Con este evento tampoco se detiene la simulación, y

al igual que con el evento anterior se informa del instante en el que ha tenido lugar.

- **Paciente fallecido:** Este evento tiene lugar cuando el paciente al que hace referencia llega al momento de la estancia en el que **falleció**. A diferencia de los dos eventos anteriores, con este evento sí **se detiene la simulación**, además de mostrar un **mensaje** con la información del paciente fallecido. Por lo tanto, se actualiza el reloj de la simulación. Después, se genera un evento de salida del paciente, el cual se explica en el siguiente subapartado, para determinar la hora en la que desalojan al paciente de la UCI.

En estos eventos referentes al estado del paciente, no se han considerado las modificaciones que se producen al dar de alta a un paciente, cambiando de paciente estabilizado o recuperado a paciente dado de alta. Esto se debe a que **no existe un evento como tal sobre el alta de pacientes** incluido en el calendario de eventos con un tiempo determinado de ocurrencia.

Durante el avance de la simulación, el alta de un paciente se puede producir en los momentos en los que ésta se detiene. En esos casos, si se le asigna el alta al paciente, éste de forma inmediata cambia de estado a paciente dado de alta y no se genera ningún evento que pueda producirse en el futuro. Por eso, no existe un evento asociado con el alta de los pacientes.

#### d. Limpieza de camas

Cuando un paciente abandona la UCI, ya sea porque se le ha asignado el alta o porque ha fallecido, se debe realizar una limpieza de la cama que ha estado ocupando para que pueda ser utilizada por otro paciente. Básicamente existen **dos eventos** que hacen referencia a este proceso:

- **Salida de paciente / Inicio de limpieza de cama:** Este evento indica el momento en el que un **paciente abandona la UCI** y por tanto debe **iniciarse la limpieza** de la cama correspondiente. Se genera en dos situaciones, por un lado, cuando un **paciente es dado de alta**, y por otro, cuando un **paciente ha fallecido**. En el primer caso, se asocia un tiempo de retardo (simulando el desalojo del paciente) en función de la ocupación de la UCI en ese momento, tardando menos en abandonar la Unidad cuando hay falta de camas. En el segundo caso, el tiempo asociado no depende del número de camas ocupadas. Estos tiempos ya han sido definidos en el apartado 3.3.1. Al producirse este evento, no se detiene la simulación, pero el estado de la cama cambia de paciente dado de alta o paciente fallecido a cama en limpieza. Finalmente se **genera el evento** que indica el **final de la limpieza** de la cama.
- **Final de limpieza de cama:** Este evento, como su propio nombre indica, hace referencia a la **finalización del proceso de limpieza**. Como se acaba de decir, es generado tras producirse el evento anterior y tiene asociado un tiempo variable independiente al número de camas ocupadas (entre media

hora y una hora). La simulación no se detiene con este evento, pero el estado de la cama correspondiente a este proceso de limpieza cambia a cama libre, y ya puede ser ocupada por un nuevo paciente. Para finalizar, se **comprueba** si hay algún **paciente en las camas en espera**, y si se da el caso, se le asigna su ingreso con un evento que tendrá lugar entre 15 y 30 minutos después para considerar el tiempo de traslado del paciente.

#### e. Datos clínicos

El grupo de eventos relacionados con los **datos clínicos del paciente ingresado** es el más extenso. En este grupo se incluyen tanto informes como pruebas realizadas al paciente e información acerca de las infecciones que ha sufrido. A continuación, se explican cada uno de ellos:

- **Parte de enfermería:** En este evento se incluyen todos los **datos del paciente** cuya información está disponible para el personal médico en el mismo instante (**informes médicos, informes de enfermería y analíticas**). Estos eventos llegarían **justo antes de la sesión clínica de la mañana**, para que, en esa primera sesión, se puedan consultar. Para ello, se actualiza la información de las tablas en las que se muestran los datos del usuario. Cuando ingresa el paciente en la UCI, se generan tres eventos de este tipo, correspondientes a los datos de los últimos tres días de estancia del paciente. Si el paciente tiene una estancia menor a tres días, se adelanta el primer evento al momento del ingreso, y el resto se producen en los siguientes días de estancia. Con este evento, la simulación no se detiene.
- **Gasometría:** Este evento hace referencia a las **pruebas de gasometría** que se le realizan al paciente ingresado. A diferencia de las analíticas, que también son pruebas sobre el paciente, se tiene la información de la **hora exacta** a la que se le realizó la gasometría al paciente y en qué día de su estancia. Por lo tanto, con este evento, se actualiza la tabla de las gasometrías del paciente en cuestión en el día de estancia y en la hora que indique el evento. En este caso, tampoco se detiene la simulación, pero se escribe un mensaje de información en uno de los paneles de la pantalla principal del simulador.
- **Infección:** Este evento indica el momento de la estancia de un paciente ingresado en el que **comienza una infección**. Dado que un mismo paciente puede sufrir más de una, se generarán tantos eventos como infecciones tenga. En el momento de la llegada del evento, se actualiza la tabla de las infecciones indicando aspectos como la localización o el origen de la infección, la respuesta inflamatoria y el nombre del germen.
- **Inicio de antibiótico:** Este evento proporciona la información del instante en el que **comienza la dosis del antibiótico** para el tratamiento de una infección. Cada infección puede ser tratada por más de un antibiótico, por lo que cada paciente tendrá tantos eventos de este tipo el total de antibióticos

suministrados. La simulación no se detiene con estos eventos, pero cuando tienen lugar, se actualiza la tabla de las infecciones.

- **Final de antibiótico:** Este evento informa acerca del **final de la dosis** de un antibiótico. Por cada evento de inicio de antibiótico existe un evento de final de antibiótico. Al igual que con el evento anterior, la simulación tampoco se detiene, pero se añade la información del final del antibiótico a la tabla de las infecciones.

La generación de estos últimos cuatro eventos se realiza en el mismo instante, al ingreso del paciente en la UCI. Debido a que se conoce el momento exacto de ocurrencia de estos eventos, no es necesario distinguir entre pacientes de corta estancia (menor de tres días) y el resto.

Cuando se producen **todos los eventos** de este grupo, se debe **comprobar** si el **paciente** al que hacen referencia **continúa ingresado** en la UCI. Si se le ha asignado el alta, y ya ha abandonado la Unidad, no se aceptaría ninguno de los eventos, porque la información acerca de ese paciente ya no es necesaria para el desarrollo de la simulación.

Por último, es importante aclarar que no se han definido eventos en relación al resto de datos clínicos del paciente (parámetros neurológicos, hemodinámicos, respiratorios...) que se muestran en las tablas como la que aparece en la Figura 5. Esto se debe a que desde que el paciente ingresa en la UCI, **todos estos datos son leídos simultáneamente del historial clínico real del paciente**, y se almacenan en una matriz. Dichos datos se irán mostrando al usuario en función del momento de la estancia en el que el paciente se encuentra. Para ello, es **necesario llevar a cabo una sincronización del momento del ingreso del paciente**, porque la hora simulada del ingreso no se corresponde con la hora real, de modo que a la hora de mostrar los datos no haya un desfase horario. Esta sincronización se explica en el apartado 4.2.3.

#### f. Final de la simulación

Por último, como en todos los modelos de simulación, debe existir el **evento** que indique el **final de la simulación**. Este evento se genera al comienzo de la simulación y el tiempo de ocurrencia que se le asigna a este evento, es el elegido en la configuración del escenario para la duración de la simulación (ver apartado 4.5.2.).

Después, se realizan los cálculos necesarios para poder generar los informes finales, los cuales servirán para analizar los resultados de la simulación. En el apartado 4.6. se explica cuál es la información que se va a recoger de la simulación.

#### 4.1.3. Reloj de la simulación

El **reloj de la simulación** es el indicador que permite conocer el **tiempo transcurrido de la simulación**. Como ya se ha dicho, su valor se **actualiza** cada vez que ocurre un **evento**. En este modelo, el reloj consiste en una variable continua, cuyo valor representa las **horas** transcurridas desde el comienzo de la simulación.

Así como en otras simulaciones se muestra por pantalla el reloj de la simulación directamente, en este caso se deben realizar algunos cálculos para que esta información sea de utilidad al usuario. Cada vez que ocurre un evento, al actualizarse el valor del reloj, se debe comprobar el día de la simulación en el que se está, para ir modificando el calendario de la simulación. En la Figura 6 se puede ver el calendario que se utiliza en el simulador para consultar el día actual de la simulación y las cirugías programadas de los próximos días.

PROGRAMACIÓN QUIRÚRGICA <span>Gestionar cirugías</span>						
LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
		1	2	3	4	5
		Programadas: 2 Suspendidas: 0	Programadas: 2 Suspendidas: 0	Programadas: 1 Suspendidas: 0	Programadas: 0 Suspendidas: 0	Programadas: 0 Suspendidas: 0
6	7	8	9	10		
Programadas: 2 Suspendidas: 0	Programadas: 1 Suspendidas: 0	Programadas: 2 Suspendidas: 0	Programadas: 2 Suspendidas: 0	Programadas: 2 Suspendidas: 0		

Figura 6. Calendario del simulador.

A su vez, es más interesante para el usuario conocer **la hora del día** y no tanto las horas transcurridas desde el inicio de la simulación. Por ello, se calcula el resto que resulta al dividir el valor del reloj de la simulación entre 24 y así se extrae la hora del día en concreto. Con este valor obtenido, se calcula la hora exacta y se coloca en el reloj digital, el cual se muestra en la Figura 7. Junto al reloj, aparece un letrero con el día en el que se sitúa la simulación.



Figura 7. Reloj de la simulación.

#### 4.1.4. Calendario de eventos

El **calendario de eventos contiene cada uno de los eventos** mencionados en el apartado 4.1.2. No va a contener un evento de cada tipo, como ocurre con otros modelos de simulación, sino que muchos de los eventos estarán duplicados porque hacen referencia a pacientes o a camas diferentes.

En cualquier caso, siempre se extrae el primer evento de su lista, es decir, el que va a ocurrir en el **siguiente instante del futuro más próximo**. Cada tipo de evento se procesa de una forma diferente como ya se ha comentado, pero con la llegada de

cada evento siempre se van a actualizar los contadores estadísticos que se definen en el siguiente apartado.

Al ser un simulador que interactúa con el usuario, cuando ocurre un evento no siempre se avanza directamente hasta el instante del siguiente evento. En muchos momentos de la simulación, está se detiene a la espera de que el usuario realice algunas acciones. Hasta que no ha terminado con las acciones requeridas y no pulsa el botón que permite continuar, no se avanza hasta el siguiente evento.

#### 4.1.5. Contadores estadísticos

Los **contadores estadísticos** permiten evaluar medidas de **rendimiento** acerca de la simulación realizada. Los que se han considerado en esta simulación, se pueden dividir en **tres grupos**. En cada grupo, existen por un lado contadores estadísticos que se iban actualizando conforme avanzaba la simulación (**medidas globales**), y por otro, contadores estadísticos que se calculaban al finalizar la simulación (**medias, máximos...**).

Para no exceder innecesariamente la explicación de cada uno de los contadores estadísticos, se va a definir cada una de las medidas realizadas sobre los pacientes en general. Aunque a la hora de calcular estos valores, también se distingue entre los tipos de pacientes (urgentes y programados) como se verá en las tablas siguientes.

##### a. Llegadas a la UCI

En cuanto a las llegadas de pacientes a la UCI, se cuenta el **número total de pacientes que llegan** a la UCI durante la simulación, y a su vez se realiza un **recuento** de a cuántos se les **ingresa** y a cuántos se les **niega el ingreso**. Por lo tanto, cada vez que se produce un evento de llegada, un ingreso o una negación de ingreso, y una confirmación o suspensión de cirugía, se actualizan estos contadores.

Por otro lado, las medias que se obtienen de estos contadores son el número de llegadas de pacientes por día, el número de ingresos que se producen por día y el número de pacientes rechazados por día. Como ya se ha dicho, estas medidas se realizan también sobre los dos tipos de pacientes, tanto urgentes como programados, pero en el caso de los pacientes programados, dado que sólo llegan a la UCI de lunes a viernes, las medias se obtienen por día de operación. En la Tabla 1 se observa un ejemplo de estas medidas.

Pacientes	Llegadas	Atendidos	Rechazados	Llegadas por día	Atendidos por día	Rechazados por día
Urgentes	20	10	10	2.0	1.0	1.0
Programados	10	10	4	2.0	1.4286	0.5714
Totales	34	20	14	3.4	2.0	1.4

Tabla 1. Información de los pacientes llegados a la UCI.

### b. Alta de pacientes

Con respecto al **alta de pacientes** en una UCI, las dos medias más relevantes para analizar los resultados son el **número de altas** que se han realizado y de éstas, **cuántas** han provocado un **acortamiento de la estancia** de algún paciente. Por lo tanto, cada vez que se asigna un alta, se actualiza el número de pacientes dados de alta, y se comprueba si el estado del paciente en cuestión.

Si resulta que se le ha dado de alta a un paciente susceptible de ser dado de alta, significa que se le ha acortado la estancia a este paciente, por lo que se actualiza el contador de las estancias acortadas. En este caso, se calcula el tiempo acortado del paciente comparando el tiempo actual con el tiempo en el que el paciente pasaría a estar recuperado para ser dado de alta. En el caso de que el paciente al que se le da el alta está en estado recuperado, solamente se actualiza el contador de los pacientes dados de alta. Al igual que antes, se calcula el número de pacientes dados de alta por día y el número de estancias acortadas por día.

Por último, se hace un análisis de los tiempos de estancia acortados de los pacientes, obteniendo el tiempo medio, total y máximo de estancias acortadas. Tanto el tiempo total como el máximo son medidas que se actualizan cada vez que se acorta una estancia, mientras que el tiempo medio se calcula al final de la simulación. En la Tabla 2 se muestra una recopilación de estas medidas.

Pacientes	Dados de alta	Estancias acortadas	Dados de alta por día	Estancias acortadas por día	Tiempo medio de estancias acortadas (h)	Tiempo total de estancias acortadas (h)	Tiempo máximo de estancias acortadas (h)
Urgentes	5	3	0.5	0.3	59.618	178.855	61.882
Programados	9	0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0
Totales	14	3	1.4	0.3	59.618	178.855	61.882

Tabla 2. Información de las altas de los pacientes.

### c. Ingresos retrasados

Por último, en lo referente a los **ingresos retrasados** por falta de camas, es importante conocer el **número de pacientes** que han sufrido un retraso en su ingreso. Por eso, este contador se actualiza cada vez que un paciente tiene que situarse en una de las camas en espera. Igualmente, se obtiene el número de ingresos retrasados por día de simulación.

Al igual que en con los tiempos anteriores de estancia acortada, aquí también se obtiene el tiempo medio, total y máximo de ingresos retrasados. En la Tabla 3 se pueden ver estas medidas calculadas.

Pacientes	Ingresos retrasados	Ingresos retrasados por día	Tiempo medio de ingresos retrasados (h)	Tiempo total de ingresos retrasados (h)	Tiempo máximo de ingreso retrasados (h)
Urgentes	4	0.4	1.794	7.177	2.333
Programados	0	0	0	0	0
Totales	4	0.4	1.794	7.177	2.333

Tabla 3. Información de los ingresos retrasados.

#### 4.1.6. Diagrama de flujo

En la Figura 1 del apartado 2.2.3. se ha mostrado un diagrama de flujo de manera general acerca de la simulación de eventos discretos. Pero para entender mejor este modelo de simulación, es conveniente representar un **diagrama de flujo más completo**, especificando brevemente cada uno de los eventos que tienen lugar.

A continuación, en la Figura 8, se muestra un diagrama de flujo del modelo de simulación de forma extendida. A su vez, en la Figura 9, se describe esquemáticamente el **proceso de salida** de un paciente de la UCI (ya sea porque se le ha dado de alta o porque ha fallecido), en el cual se incluyen los eventos de la limpieza de camas.

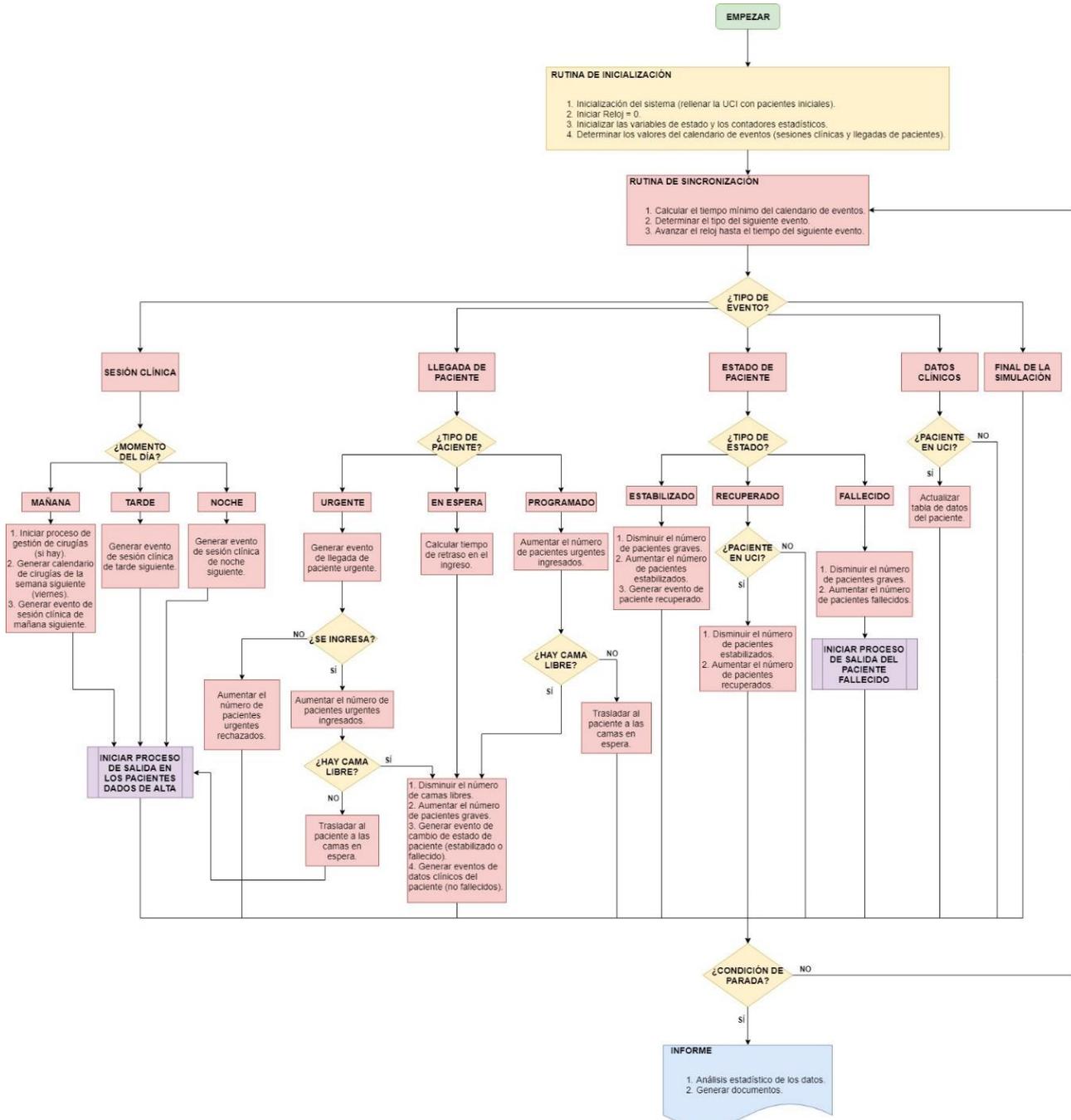


Figura 8. Diagrama de flujo del modelo de simulación.

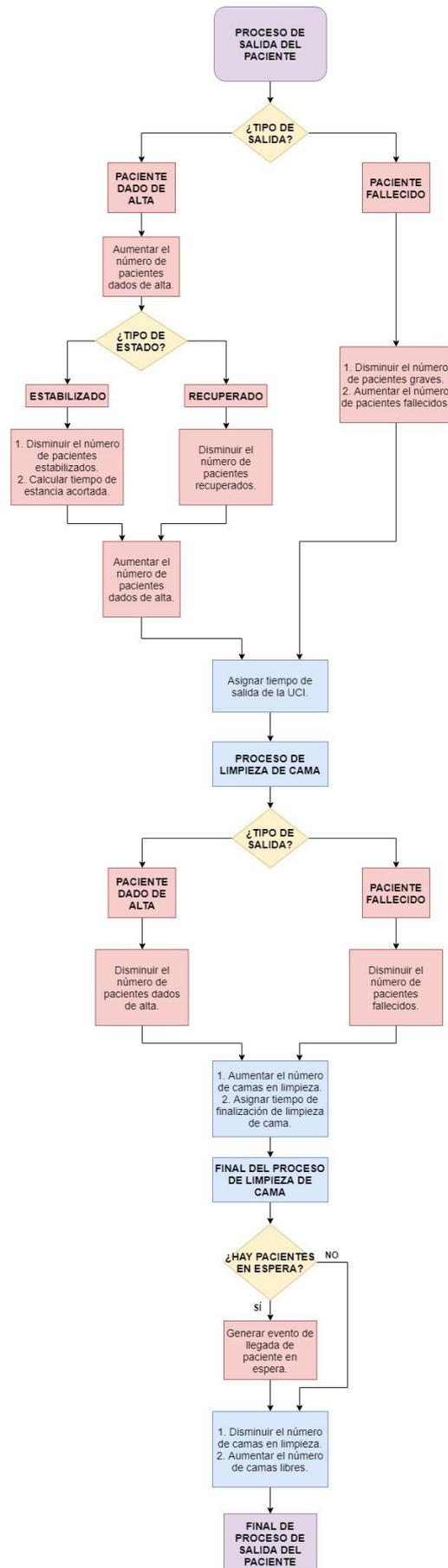


Figura 9. Proceso de salida del paciente.

## 4.2. PROCESO DE LLEGADAS

A lo largo de este trabajo se ha mencionado el **proceso de llegadas** de los pacientes a la UCI. En este apartado, se va a describir este proceso, analizando los factores influyentes, explicando cómo se generan las llegadas de cada tipo de paciente, y viendo la necesidad de sincronizar dichas llegadas.

### 4.2.1. Factores influyentes

Las llegadas de pacientes a la UCI se simulan con tasas que **dependen** de su **tamaño** (número de camas), del **mix de pacientes** y de la **dificultad de gestión**, que viene medida por la tasa de ocupación media.

#### a. Dificultad de gestión

La **dificultad de gestión** de una UCI viene **determinada** por el **grado de ocupación** de camas que presenta. En general, se pueden distinguir 4 niveles diferentes, teniendo un grado de ocupación normal, alto, muy alto y extremo. En este trabajo se pretenden alcanzar situaciones de alta ocupación, por lo que el nivel normal no se va a considerar.

Cada uno de estos niveles va a definir la tasa de ocupación que presenta la UCI. En términos aproximados, una ocupación **alta** equivale a una tasa del **85%**, una ocupación **muy alta** equivale a una tasa del **95%** y una **extrema** equivale a una tasa superior al **100%**.

La **tasa de ocupación** se representa con la letra  $\rho$ , y presenta la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{\lambda_T}{S \cdot \mu} \quad (6)$$

con:

$\lambda_T$  = Tasa total de llegada de pacientes a la UCI (nº pacientes/día).

$S$  = Número de camas disponibles en la UCI (cama).

$\mu$  = Tasa de servicio (nº pacientes/(cama·día)).

#### b. Escenario

El **escenario** de la UCI viene **determinado** por el **número de camas** que dispone para atender a los pacientes, representado por la letra  $S$ ; y los diferentes tipos de pacientes que ingresan en la Unidad. Esto último se denomina el **mix de pacientes** de la UCI, el cual se define a partir de distintos porcentajes. Los pacientes se escogen de una **bolsa de pacientes** que se ha creado, y la probabilidad de escoger a cada uno, dependerá de los porcentajes definidos por el usuario.

En el **mix de pacientes**, existe una primera **división** muy clara. Por un lado, se encuentra el porcentaje de **pacientes urgentes** ( $P_U$ ), que son aquéllos que ingresan en la UCI sin previo aviso. Por otro lado, se encuentra el porcentaje de **pacientes programados** ( $P_P$ ), los cuales ingresan en la UCI después de una intervención

quirúrgica programada. Por lo tanto, se conoce previamente el momento de su ingreso.

Dado que en un primer nivel sólo se distinguen estos dos tipos de pacientes, la suma de sus porcentajes completa el 100% del mix de pacientes.

$$P_U + P_P = 100\% \quad (7)$$

A su vez, dentro de estos dos grupos, aparecen diferentes tipos de pacientes, con tiempos de permanencia (en días) diferentes en la UCI (LoS (Length of Stay)). A modo general, y sin entrar en definir cada tipo, se consideran **m tipos de pacientes urgentes** desde **C<sub>1</sub>** hasta **C<sub>m</sub>**, y **n tipos de pacientes programados** desde **Q<sub>1</sub>** hasta **Q<sub>n</sub>**. En el Anexo A se describen con más detalle estos tipos.

Cada uno de estos tipos, representan un porcentaje de pacientes del mix de pacientes ( $P_{Ci}$  y  $P_{Qi}$ ), por lo tanto, sumando por ejemplo los porcentajes de cada tipo de pacientes urgentes se obtiene el porcentaje de pacientes urgentes, y **no el 100%**.

$$\sum_{i=1}^m P_{Ci} = P_U \quad ; \quad \sum_{i=1}^n P_{Qi} = P_P \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^m P_{Ci} + \sum_{i=1}^n P_{Qi} = 100\% \quad (9)$$

#### 4.2.2. Tasa de llegadas

Una vez explicados estos aspectos, el objetivo es determinar el proceso de llegadas para cada tipo de paciente, para que así se puedan generar en la simulación.

En primer lugar, se debe calcular **la tasa de servicio  $\mu$**  a partir de la información del mix de pacientes. Para ello, se va a obtener **su inverso  $1/\mu$** , que es el **tiempo medio de estancia en la UCI de un paciente en días**.

$$\frac{1}{\mu} = \sum_{i=1}^m P_{Ci} \cdot \hat{E}(LoS(C_i)) + \sum_{i=1}^n P_{Qi} \cdot \hat{E}(LoS(Q_i)) \quad (10)$$

Estimaciones del tiempo medio a partir de las medias muestrales.

$$\hat{E}(LoS(C_i)) = \frac{\sum_{j \in C_i} LoS(j)}{\#C_i} \quad (11)$$

$$\hat{E}(LoS(Q_i)) = \frac{\sum_{j \in Q_i} LoS(j)}{\#Q_i} \quad (12)$$

con:

$\#C_i$  = Número total de pacientes de la bolsa pertenecientes al grupo  $C_i$ .

$\#Q_i$  = Número total de pacientes de la bolsa pertenecientes al grupo  $Q_i$ .

Si dentro de cada tipo  $C_i$  y  $Q_i$ , existen más subgrupos, por ejemplo, distinguiendo estancia corta y estancia larga, el cálculo de  $\hat{E}(LoS(C_i))$  sería:

$$E(LoS(C_i)) = \%Estancia Corta C_i \cdot \hat{E}(LoS(Estancia Corta C_i)) + \%Estancia Larga C_i \cdot \hat{E}(LoS(Estancia Larga C_i)) \quad (13)$$

Después de extraer el valor de  $\mu$ , despejando directamente de la ecuación (6) se obtiene  $\lambda_T$ .

$$\lambda_T = \rho \cdot S \cdot \mu \quad (14)$$

Y a partir del valor de  $\lambda_T$  se puede obtener el valor de la **tasa de llegadas de los pacientes urgentes por día** ( $\lambda_U$ ) y la **tasa de llegadas de los pacientes programados por día** ( $\lambda_P$ ).

$$\lambda_U = P_U \cdot \lambda_T \quad (15) \quad ; \quad \lambda_P = P_P \cdot \lambda_T \quad (16)$$

Después de obtener la tasa de llegada de los dos niveles superiores del mix de pacientes, se va a explicar por separado la generación de las llegadas de cada tipo, ya que presentan diferencias entre ellos.

#### a. Generación de pacientes urgentes

Los **pacientes urgentes** presentan un **tipo de llegadas de tipo Poisson** con tasa de llegadas por día  $\lambda_U$ , la cual se ha calculado anteriormente. Dada una llegada en el instante  $t_i$  (días), la siguiente llegada se produce en el instante  $t_{i+1}$  según la siguiente expresión:

$$t_{i+1} = t_i - \left(\frac{1}{\lambda_U}\right) \cdot \ln u_i \quad ; \quad \text{con } u_i \sim U(0,1) \quad (17)$$

Esta expresión se ha obtenido aplicando el **método de la transformada inversa** sobre la distribución exponencial, para obtener el tiempo entre dos llegadas consecutivas. La demostración de esta expresión se recoge en el Anexo B.

Dado que el reloj de la simulación se ha definido en horas, para cuadrar las unidades se debe dividir la tasa  $\lambda_U$  entre 24 antes de realizar el cálculo de  $t_{i+1}$ . Una vez generada la llegada, se debe asignar el tipo de paciente urgente que llega, sorteando entre los grupos  $C_i$  de acuerdo con su porcentaje. Es decir, el paciente que llega será del tipo  $C_i$  con una probabilidad de  $P_{C_i}/P_U$ .

Conociendo ya el perfil del paciente que debe llegar, se **sortea** el paciente en cuestión de entre todos los pacientes del tipo  $C_i$  seleccionado que están registrados en la base de datos, pudiendo volver a elegir pacientes que ya hayan sido ingresados. Esta condición se ha mantenido así para evitar desajustar la tasa de llegadas por medio de elecciones condicionadas a ingresos previos.

#### b. Generación de pacientes programados

A diferencia de los pacientes urgentes, los **pacientes programados no siguen un proceso de llegadas de tipo Poisson**. Cada viernes, se obtiene la información de las llegadas de estos pacientes para la semana siguiente (se excluyen el sábado y el domingo ya que en esos días no hay cirugías).

A partir de la **tasa de llegadas por día de los pacientes programados** ( $\lambda_P$ ), primero hay que obtener el **número esperado de llegadas programadas por día de**

**operación** ( $\lambda_{P(DO)}$ ), de manera que se ajusten estas llegadas sólo a los días en los que hay cirugías:

$$\lambda_{P(DO)} = \frac{\lambda_P \cdot 7}{d} \quad (18)$$

siendo  $d$  el número de días por semana en los que hay operación (5 días).

A partir de este valor, se calcula para cada tipo de paciente programado  $Q_i$  la tasa de llegadas por día de operación ( $\lambda_{Q_i(DO)}$ ) de la siguiente manera:

$$\lambda_{Q_i(DO)} = \frac{P_{Q_i}}{P_Q} \cdot \lambda_{P(DO)} \quad (19)$$

Este valor obtenido, es el que hay que repartir entre los días en los que se producen las cirugías de tipo  $Q_i$ , de manera que se mantenga el valor esperado de llegadas de cada tipo. Una forma de hacerlo, dado que  $\lambda_{Q_i(DO)}$  será un **número no entero**, es asignar a cada día de operación el entero inferior o superior con una probabilidad que corresponda con la proximidad del número a cada entero.

Por ejemplo, se supone que la tasa de llegadas por día de operación del tipo  $Q_i$  que se ha obtenido es de 2,1. Dado que no se pueden operar 2,1 pacientes, cada día se asignaría para operar 2 pacientes del tipo  $Q_i$  con una probabilidad de 0,9; y se asignaría 3 pacientes con una probabilidad de 0,1. Así, se mantiene en media el número de llegadas esperado de pacientes del tipo  $Q_i$ .

#### 4.2.3. Sincronización de las llegadas

La **hora llegada** de los pacientes a la UCI en el modelo de simulación es **aleatoria** e independiente a la hora de llegada real de ese paciente en la vida real. Por lo tanto, se debe realizar una **sincronización** de la hora de llegada de la simulación con la hora de llegada real. Así, a la hora de monitorizar los datos del paciente, no se produce una descompensación en las horas.

A continuación, se van a explicar por separado el modo en el que se realiza esta sincronización para los pacientes urgentes, por un lado, y para los pacientes programados por otro.

##### a. Sincronización de los pacientes urgentes

En el apartado anterior, se ha explicado cómo se produce la generación de una llegada de un **paciente urgente** a la UCI. Es en ese momento cuando el usuario decide si se ingresa o no al paciente. Por lo tanto, en el caso de que ingrese, esa hora sería su **hora de ingreso en la simulación**.

Casi con total seguridad, esa hora de ingreso **no se corresponda con la hora de ingreso real** del paciente. De modo que, si se establece el origen temporal del paciente en ese momento, aparecerán los datos del mismo en unas horas desfasadas. Es necesario, por tanto, **ajustar** este desfase de alguna manera.

Para **sincronizar** la llegada, lo que se hace es comparar la diferencia entre la hora de ingreso real del paciente y la hora de ingreso simulada del paciente. Mediante esta

comparación, lo que se pretende analizar es si la cantidad de horas que se retrocede en el tiempo hasta que coinciden la hora de ingreso simulada con la hora real de ingreso es mayor o menor que la cantidad de horas que se avanza en el tiempo hasta que coinciden la hora de ingreso simulada con la hora real de ingreso. Sabiendo el caso en el que se obtengan menos horas de diferencia, se adelantará o retrasará la hora de ingreso sincronizada, no así la hora de ingreso de la simulación que se mantiene constante.

Para dejar algo más claro este concepto de sincronización se proporcionan los dos casos mencionados de forma **gráfica**. En la Figura 10 se muestra el caso en el que se realiza una sincronización hacia atrás, es decir, se adelanta la hora de ingreso del paciente; mientras que en la Figura 11 se muestra el caso en el que se realiza una sincronización hacia atrás, al retrasar la hora de ingreso del paciente.

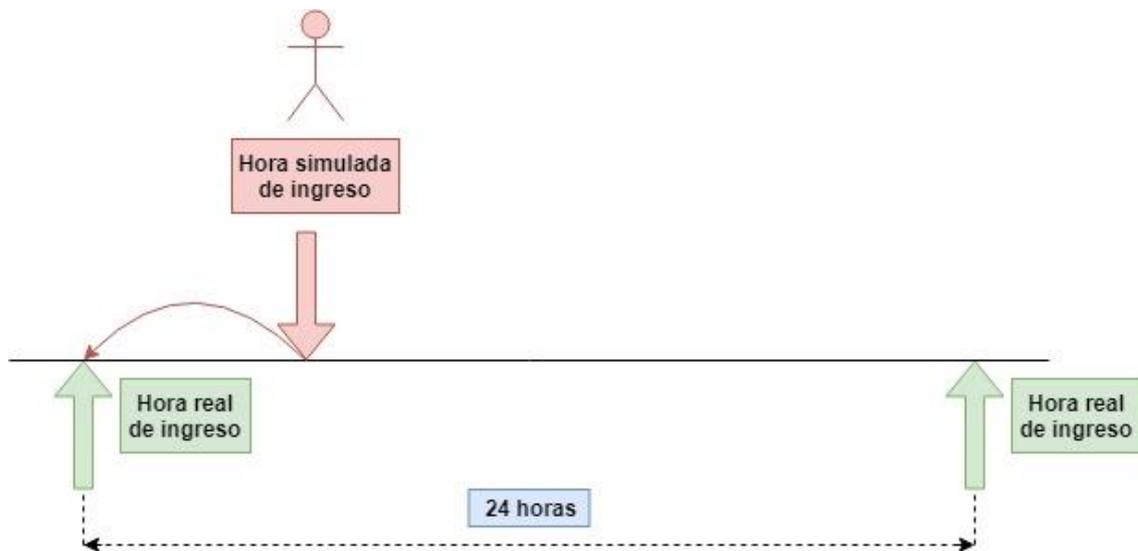


Figura 10. Sincronización hacia atrás.

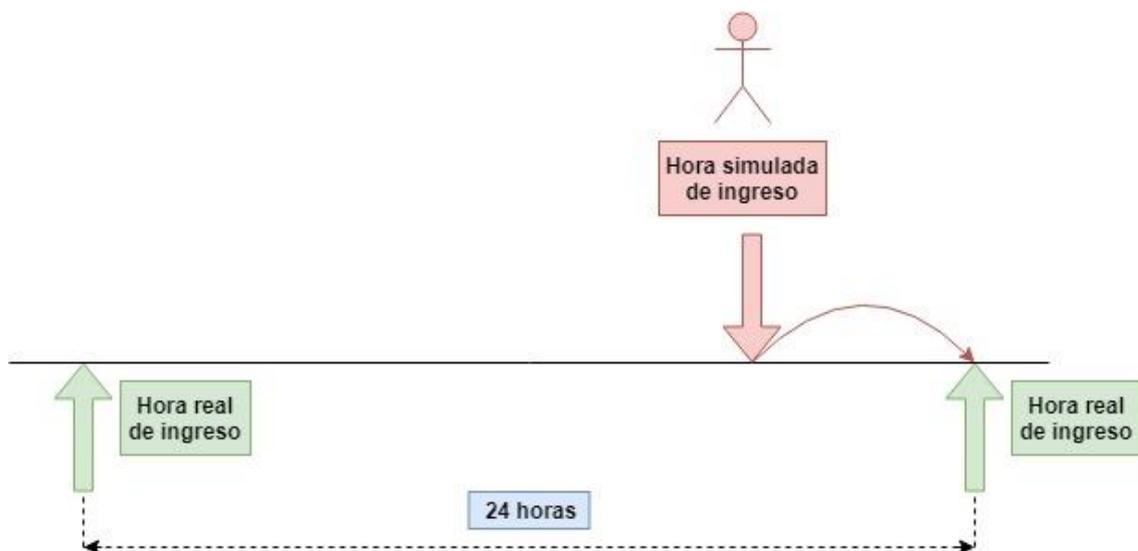


Figura 11. Sincronización hacia delante.

Esto supone que los parámetros de salud de los pacientes sincronizados hacia atrás (Figura 10) que se comienzan a mostrar en la hora de ingreso simulada, no se corresponden sus datos reales del ingreso, sino con los valores que presentaban en ese momento (en la realidad, el paciente habría evolucionado algunas horas). Por el contrario, los parámetros de salud de los pacientes sincronizados hacia delante (Figura 11) no se monitorizan hasta que llegan a la hora real de ingreso, por lo que, durante ese tiempo, su estado clínico es el mismo que el del momento del ingreso.

En ambos casos, como **máximo** se puede dar una **diferencia horaria de 12 horas**. Por lo tanto, el tiempo que transcurre entre la hora real de ingreso y la hora simulada de ingreso es insuficiente como para apreciar cambios importantes en el estado de salud de los pacientes, de manera que no influye en el desarrollo de la simulación.

Una vez que se establece la hora de ingreso sincronizada, todo aquello relacionado con los eventos del paciente en cuanto a los datos clínicos, cambiar de estado a estabilizado, recuperado o fallecido; se realiza utilizando como referencia esta hora recalculada. Sólo en el caso de calcular la cantidad de días que el paciente lleva ingresado, se toma de referencia la hora de ingreso simulada.

#### **b. Sincronización de los pacientes programados**

Los **pacientes programados** tienen un trato diferente en el sentido de la sincronización, ya que cuando se ha definido la llegada de éstos al sistema, se hacía referencia a la cantidad de pacientes que requerían intervención quirúrgica cada día. Por lo tanto, aunque es cierto que son llegadas, la llegada como tal entendida como ingreso en la UCI no se produce hasta que el usuario confirma las cirugías programadas y posteriormente el paciente ingresa en el sistema.

Ya se ha comentado en el apartado b del punto 4.1.2. que cuando se confirman las cirugías de los pacientes programados, es cuando se generan los eventos de llegada de estos pacientes. Estas **llegadas, ya no son aleatorias**, sino que se producen en la **hora exacta** en la que el paciente ingresó en la realidad. Por lo tanto, es en el momento en el que se genera el evento de la llegada del paciente programado cuando realmente se produce la sincronización de este tipo de pacientes.

Esto conduce a que los **pacientes programados no van a tener esa sincronización** de la estancia por parte del simulador, ya que siempre van a ingresar a su respectiva hora. Con lo cual, su hora de ingreso servirá tanto para generar todos los eventos asociados al paciente, como para contar los días que lleva ingresado el paciente.

### **4.3. INICIALIZACIÓN DEL SISTEMA**

Antes de comenzar con la simulación, se debe **inicializar el sistema**. En este proceso, se proporciona un historial de llegadas de pacientes, se introduce una cantidad de pacientes en la UCI para no comenzar con el sistema vacío, se sortean estos pacientes y se le asigna a cada uno un tiempo de llegada para determinar el tiempo que lleva ingresado.

### 4.3.1. Historial de llegadas

En el comienzo de la simulación se proporciona un gráfico con el **historial de llegadas de pacientes** en los días anteriores (el número de días del historial se determina mediante la configuración del escenario). Estas llegadas se **simulan** utilizando las tasas de llegadas calculadas de cada grupo de paciente. Posteriormente, durante el transcurso de la simulación, el gráfico se **actualiza** con las **llegadas reales** al sistema.

En este historial se distinguen las llegadas de **pacientes urgentes** de las llegadas de **pacientes programados**, ya que su simulación es diferente. En la Figura 12, se muestra la gráfica de barras, donde se recoge el número de llegadas de los pacientes por día.

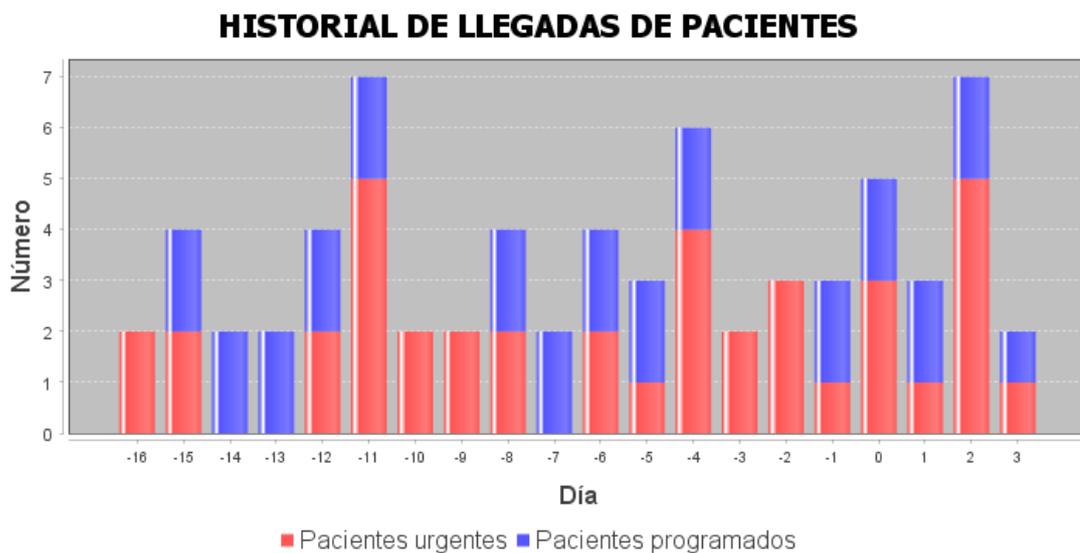


Figura 12. Historial de llegadas de pacientes a la UCI.

#### a. Simulación de las llegadas de los pacientes urgentes

Anteriormente se ha explicado que los **pacientes urgentes** presentan un tipo de llegadas de **tipo Poisson** con tasa de llegadas por día  $\lambda_U$  ya calculada. Por lo tanto, para cada día, el número de llegadas de pacientes urgentes será una variable aleatoria que siga una distribución de Poisson de parámetro  $\lambda_U$  ( $P(\lambda_U)$ ).

Para generar una variable  $P(\lambda_U)$ , se procede del siguiente modo. Se generan valores  $t_i \equiv \text{Exp}(\lambda_U)$  tales que:

$$\sum_{i=1}^x t_i \leq 1 < \sum_{i=1}^{x+1} t_i \tag{20}$$

Ese valor  $x$  corresponde a una variable  $P(\lambda_U)$ . Como los valores  $t_i$  son exponenciales de parámetro  $\lambda_U$ , entonces se tiene que:

$$t_i = -\left(\frac{1}{\lambda_U}\right) \cdot \ln u_i ; \text{ con } u_i \rightsquigarrow U(0,1) \tag{21}$$

Por lo tanto, si se desarrolla la expresión (20):

$$\sum_{i=1}^x t_i \leq 1 < \sum_{i=1}^{x+1} t_i \rightarrow \quad (22)$$

$$\rightarrow \sum_{i=1}^x -\left(\frac{1}{\lambda_U}\right) \cdot \ln u_i \leq 1 < \sum_{i=1}^{x+1} -\left(\frac{1}{\lambda_U}\right) \cdot \ln u_i \rightarrow \quad (23)$$

$$\rightarrow \ln \prod_{i=1}^x u_i \geq -\lambda_U > \ln \prod_{i=1}^{x+1} u_i \rightarrow \quad (24)$$

$$\rightarrow \prod_{i=1}^x u_i \geq e^{-\lambda_U} > \prod_{i=1}^{x+1} u_i \quad (25)$$

En resumen, el algoritmo que se emplea para obtener la variable aleatoria es el siguiente:

1. Sean  $y=1$ ,  $x=1$ .
2. Se genera  $u_i \equiv U(0,1)$  y se hace  $y = y \cdot u_i$ .
3. Si  $y \leq e^{-\lambda_U}$ , entonces  $x-1$  es el valor buscado. En caso contrario se hace  $x=x+1$  y se va al paso 2.

De esta manera, los valores de  $x-1$  obtenidos se van asignando a las llegadas de cada día.

#### b. Simulación de las llegadas de los pacientes programados

Como ya se ha comentado en el apartado 4.2.2, los **pacientes programados** no siguen un proceso de llegadas de **tipo Poisson**. Por lo tanto, la simulación de las llegadas de estos pacientes difiere con la de los pacientes urgentes.

Por un lado, en los días que se corresponden con el fin de semana no habrá llegadas, ya que en estos días no hay cirugías. Por otro lado, para llevar a cabo la simulación de llegadas de los días de operación, se utiliza el parámetro  $\lambda_{P(DO)}$  antes calculado, el cual hace referencia al **número esperado de llegadas programadas por día de operación**.

Por lo tanto, se establece que cada día ha llegado a la UCI un número de pacientes programados igual al entero inferior o superior al valor de  $\lambda_{P(DO)}$ . Al igual que se ha explicado anteriormente, la probabilidad de asignar el entero inferior o superior la marca la proximidad del valor  $\lambda_{P(DO)}$  a estos enteros.

#### 4.3.2. Pacientes iniciales en la UCI

Los **pacientes iniciales** llegan a la UCI antes de comenzar la simulación como tal, es decir, cuando el reloj de la simulación aún tiene valor 0. Son los pacientes con los que va a comenzar la UCI, por lo que **no se discute su ingreso** y no se detiene la simulación. Al llegar, ocuparán una cama sin la interacción con el usuario. Por lo tanto, con las llegadas de los pacientes iniciales, se modifican los estados de las camas que van ocupando, dejando estas de estar libres (el estado con el que empiezan estas camas depende del tiempo que lleva ingresado el paciente en cuestión el cual se simula). Estos pacientes son **tanto urgentes como programados**, ya que inicialmente se pueden tener ambos tipos de pacientes en la UCI.

En primer lugar, se debe calcular el número de pacientes que se van a presentar inicialmente en la UCI, y a partir de este valor, seleccionar del mix de pacientes aquéllos que se van a introducir y en qué momento de su estancia.

#### a. Número de pacientes iniciales

Para determinar el número de pacientes que van a estar ocupando una cama en el instante inicial de la simulación, se utiliza el valor seleccionado por el usuario de la **tasa de ocupación del sistema ( $\rho$ )**. Este valor va a indicar el porcentaje de las camas de la UCI que van a estar ocupadas en el instante inicial.

Con el porcentaje y el número de camas totales, se calcula el número de camas que se van a ocupar. El resultado se redondea al entero más próximo, y este valor obtenido es el número de pacientes que inicialmente se encuentran en el sistema.

#### b. Tipos de los pacientes iniciales

Una vez obtenido el número de pacientes iniciales, se debe asignar el **tipo** de cada uno de ellos. Para ello se utilizan los **porcentajes** introducidos por el usuario del mix de pacientes ( $P_U, \{P_{C_i}\}, P_P, \{P_{Q_i}\}$ ).

Entonces, para seleccionar el paciente a introducir se realizan **3 sorteos** en función de estos porcentajes. El primer sorteo determina el grupo al que pertenece el paciente (urgente o programado), el segundo determina el tipo dentro de cada grupo obtenido, y, por último, el tercero determina el paciente en concreto que se introduce dentro de los pacientes del tipo seleccionado.

Este proceso de selección se repite tantas veces como pacientes iniciales se deban ingresar en la UCI.

#### c. Tiempo que lleva ingresado el paciente inicial

Los pacientes seleccionados para entrar en la UCI en el momento inicial de la simulación no tienen por qué haber ingresado precisamente en ese instante. Por eso, a cada uno de ellos, se le asigna un **momento de ingreso anterior** al comienzo de la simulación. En este caso no se hace distinción entre pacientes urgentes y programados, ya que el trato va a ser el mismo.

Para establecer el tiempo que lleva ingresado cada paciente en el momento inicial, se selecciona un **tiempo aleatorio entre 0 y el tiempo de estancia** de ese paciente en la UCI. Este valor obtenido es aproximado, ya que se debe **sincronizar** con la hora exacta de ingreso del paciente, para que, a la hora de mostrar los datos, aparezcan en sus respectivas horas.

Este último valor ya sincronizado, es el que se le asigna a cada paciente como momento de ingreso en la UCI. A partir de él, se establecen los instantes en los que el paciente se encuentra estabilizado o recuperado para poder ser dado de alta.

#### 4.4. REPETICIÓN DE ESCENARIOS

Una de las posibilidades que ofrece la simulación es poder presentar el **mismo escenario** a dos médicos diferentes, y analizar las decisiones que toman sobre él cada uno de ellos. Pero un mismo escenario no significa tan solo que tenga el mismo mix de pacientes, que presente una UCI con el mismo número de camas, o que el grado de ocupación de camas sea igual. Intuitivamente, puede parecer que sí resulta el mismo escenario, pero en la simulación entran en juego más aspectos, como son el momento en el que llegan los pacientes, el orden en el que llegan o los tiempos que se utilizan para el acondicionamiento de las camas.

Para poder comparar las decisiones de dos usuarios, y poder analizar las diferencias observadas, es determinante que dichas diferencias se deban a las distintas decisiones que tomen y no a las posibles variaciones que pueden aparecer a partir de una misma configuración inicial. Puede darse el caso que un usuario decida dar de alta a un paciente en un momento de la simulación diferente a otro, por lo que los tiempos de salida del paciente y limpieza de la cama no se generan en el mismo instante. Con lo cual, la secuencia de números aleatorios utilizados en un caso y en otro no es la misma. La reproducibilidad exacta de un escenario se consigue mediante la técnica de los **números aleatorios comunes**, ya que son éstos los que se utilizan para determinar los sucesos que no están determinados previamente.

Para implementar esta técnica es necesario **sincronizar el uso de los números aleatorios** en las simulaciones de todas las configuraciones distintas del sistema. Esto significa que un número aleatorio concreto que es utilizado para un propósito en una configuración ha de ser utilizado para el mismo propósito en el resto de las ejecuciones. Por ejemplo, si un número se utiliza para generar el tiempo entre dos llegadas consecutivas de pacientes urgentes al sistema, en el resto de las ejecuciones ese número se debe utilizar para generar el mismo tiempo entre llegadas (y no un tiempo de limpieza de una cama).

En general **no es suficiente** con iniciar la generación de la secuencia de números aleatorios con la **misma semilla** en la ejecución de cada una de las configuraciones distintas del sistema. Una forma de favorecer la sincronización es emplear una secuencia distinta para cada elemento estocástico distinto incluido en el modelo de simulación y que, por tanto, debe ser simulado. En este modelo, es factible, y se ha implementado con la creación de 9 listas al comienzo de la simulación que albergan 1000 números aleatorios entre 0 y 1, y cada una es utilizada para un propósito diferente:

- **Histórico de llegadas de pacientes urgentes:** Los números de esta lista se utilizan para indicar la **cantidad de pacientes urgentes** que han llegado a la UCI los días previos al comienzo de la simulación. Se emplean en el algoritmo desarrollado en el apartado a del punto 4.3.1.
- **Redondeo de las llegadas de pacientes programados:** Para indicar el **número de pacientes programados** que hay en un día de operación (tanto

en el historial como durante la simulación), se debe redondear un número decimal a sus enteros más próximos con probabilidad de cercanía. Los números de esta lista se utilizan para poder redondear esos valores.

- **Pacientes iniciales:** Esta lista sirve para **decidir el mix inicial de pacientes** que ocupa la UCI. Como se ha mencionado en el apartado b del punto 4.3.2. para seleccionar un paciente del mix se necesitan realizar tres sorteos. En cada sorteo, se utiliza un número diferente de esta lista.
- **Sorteo de pacientes urgentes:** Durante la simulación, cada vez que se genera el evento de llegada de un paciente urgente, se debe **seleccionar a un paciente del mix** por medio de dos sorteos (uno para el subgrupo de paciente y otro para el paciente en cuestión). Los números de esta lista se utilizan para decidir dichos sorteos.
- **Sorteo de pacientes programados:** Igualmente, a la hora de generar el número de pacientes programados para cada día, se debe **seleccionar a los pacientes en concreto** con dos sorteos como antes. En cada sorteo, se utiliza un número diferente de esta lista.
- **Tiempos de salida de los pacientes dados de alta:** Para cada paciente dado de alta, se asigna un **tiempo** que representa lo que le **costa abandonar la UCI**. Para generar estos tiempos aleatorios, se utilizan los números de esta lista.
- **Tiempos de limpieza de cama:** Cuando un paciente abandona la UCI, se realiza el **proceso de limpieza de la cama** correspondiente. Este proceso lleva asociado un tiempo de duración aleatorio, el cual se determina con los números de esta lista.
- **Tiempos de ingresos de pacientes en espera:** Cuando un paciente de una de las camas en espera ingresa porque ya se ha liberado una cama, el traslado no es inmediato. Este **traslado** se simula por medio de un tiempo aleatorio, generado con los números de esta lista.
- **Tiempos de salida de pacientes fallecidos:** Estos tiempos están relacionados con los tiempos de salida de los pacientes dados de alta, ya que representan la **duración del desalojo del paciente**. Sin embargo, se consideran aparte porque afectan a otro tipo de pacientes, y así no interfieren los unos con los otros. Los números de esta lista se utilizan para generar esos tiempos de desalojo de los pacientes fallecidos.

## 4.5. ESCENARIOS

Este simulador no sólo sirve para detectar situaciones conflictivas dentro de un mismo escenario, sino que también sirve para **generar diferentes escenarios** en los que analizar otras situaciones de conflicto. Esta flexibilidad permite la adaptación del simulador a diferentes tipos de UCI, ajustándose a las características de cada una.

Mediante una **pantalla de configuración**, el usuario puede variar los parámetros que definen un escenario. En el apartado 5.1.2. se muestra la pantalla completa de configuración, mientras que a continuación sólo se van a explicar las distintas partes que la conforman sin ofrecer una vista completa de la misma.

#### 4.5.1. Mix de pacientes

Una de las posibilidades que ofrece el simulador, es **modificar los porcentajes** de los distintos **tipos de pacientes** considerados en este trabajo (recogidos en el Anexo A). Estos porcentajes se utilizan a la hora de la selección de un paciente, llegando a la UCI con mayor probabilidad los pacientes del grupo cuyo porcentaje sea mayor.

En la Figura 13 se muestran las casillas donde el usuario puede modificar los porcentajes de los diferentes tipos de paciente.



Figura 13. Configuración del mix de pacientes (1).

Para facilitar la configuración al usuario, al modificar el valor de alguna de las casillas, automáticamente se recalcula el valor del resto para que la suma se ajuste a los porcentajes totales. En la Figura 14 y Figura 15 se muestran algunas modificaciones realizadas sobre los porcentajes de la Figura 13.



Figura 14. Configuración del mix de pacientes (2).



Figura 15. Configuración del mix de pacientes (3).

#### 4.5.2. Parámetros generales

Además del mix de pacientes, se pueden modificar otros **parámetros más generales** sobre el escenario de la simulación. En la Figura 16 se muestran todos ellos de manera conjunta.

**Número de camas:** 20

**Grado de ocupación de camas:** Extremo (>100%)

**Día de comienzo de la simulación:** Miércoles

**Duración de la simulación en días:** 15

**Días del historial de llegadas:** 20

**RandomSeed:** 2908833429088334

Figura 16. Configuración de los parámetros generales.

A continuación, se explican cada uno de ellos:

- **Número de camas:** Número de camas de la UCI durante la simulación. Su número se puede variar de 1 a 30.
- **Grado de ocupación de camas:** Indica la **dificultad** que tendrá el usuario a la hora de gestionar la UCI. Mediante el desplegable que se observa en la imagen anterior, se pueden seleccionar 3 niveles diferentes (alto (85%), muy alto (95%) y extremo (>100%)).

- **Día de comienzo de la simulación:** Con el desplegable que se ve en la imagen anterior, se selecciona el día de la semana en el que va a comenzar la simulación, pudiendo elegir desde el lunes hasta el domingo.
- **Duración de la simulación en días:** Con ese valor se marca el final de la simulación, y se utiliza para generar el evento de finalización de la simulación. La simulación puede tener una duración desde 1 día hasta 30.
- **Días del historial de llegadas:** Número de días que aparecen en la gráfica del historial de las llegadas. Es decir, si el valor seleccionado es 20, significa que se pueden consultar el número de pacientes que han llegado al sistema en los últimos 20 días, a partir del día en el que se sitúa la simulación.
- **RandomSeed:** Es la **semilla** que se utiliza para generar los números aleatorios. Si en una configuración determinada, sólo se modifica este valor, la simulación será diferente en cuanto a los pacientes que lleguen al sistema, y los aspectos relacionados con la generación de tiempos aleatorios. Para simular exactamente el mismo escenario, el valor de la semilla debe ser el mismo.

#### 4.5.3. Tipos de alta

Otro de los aspectos a decidir en la pantalla de configuración del escenario es el relacionado con los **tipos de alta** que se pueden dar. En la Figura 17 se muestra esta parte de la configuración.

**TIPOS DE ALTA**

Sesión de Mañana: 08:00 ▼

**Sesiones de programación habitual de altas:**  Sesión de Tarde: 15:00 ▼

Sesión de Noche: 22:00 ▼

**Horario de altas por alta ocupación:** 08:00 ▼ 20:00 ▼

**Horario de altas por saturación de la UCI:** 00:00 ▼ 24:00 ▼

Figura 17. Configuración de los tipos de alta.

Como se aprecia en la imagen anterior, se distinguen tres partes:

- **Sesiones de programación habitual de altas:** En esta primera parte se configuran las **sesiones clínicas**. Mediante los botones de selección se pueden incluir en el escenario las sesiones de tarde y de noche, acompañando a la sesión clínica de mañana que siempre está presente en cualquier configuración. Después, en las sesiones clínicas introducidas, se puede modificar la hora en la que tiene lugar gracias a los desplegables (en el apartado a del punto 4.1.2. se describen estas sesiones clínicas).

- **Horario de altas por alta ocupación:** Este horario se corresponde con las horas del día en el que los médicos pueden **asignar un alta con el objetivo de disminuir la ocupación de la UCI**, con vistas a posibles ingresos futuros. Mediante los desplegados, se puede personalizar este horario sin ninguna restricción. Este horario lo que determina es la franja horaria en la que el usuario puede dar este tipo de altas. Con la configuración que aparece en la Figura 17, si la simulación se detiene un día a las 04:00 de la mañana por el motivo que sea, el usuario no puede dar de alta a ningún paciente para liberar una cama en ese momento (horario de 08:00-20:00). Si ambos desplegados presentan la misma hora, significa que no existe de dar altas para disminuir la ocupación en ningún momento de la simulación.
- **Horario de altas por saturación de la UCI:** Este horario se corresponde con las horas del día en el que los médicos **pueden asignar un alta cuando se da el caso de que un paciente tiene que ingresar obligatoriamente**, pero no quedan camas libres. Mediante los desplegados, se puede personalizar este horario sin ninguna restricción. Este horario lo que determina es la franja horaria en la que el usuario puede dar este tipo de altas. Con la configuración que aparece en la Figura 17, se tiene que en cualquier momento de la simulación que ocurra esta situación, se pueda dar de alta a un paciente en estado estabilizado o recuperado para se libere una cama (horario de 00:00-24:00). Al igual que antes, si ambos desplegados presentan la misma hora, no se podría asignar este tipo de altas en ningún momento de la simulación.

#### 4.5.4. Guardar y cargar escenarios

En la pantalla de configuración, existe un botón con el que se posibilita al usuario **guardar la configuración del escenario**. Es bastante útil esta opción para no tener que rellenar todos los campos cuando se quiera repetir un escenario creado por el usuario.

El archivo generado tiene una extensión .properties y se puede guardar en cualquier carpeta del ordenador que se está utilizando. Este archivo, a su vez, se podrá **cargar** desde otra ventana que aparece antes de empezar la simulación, en la que se muestra un resumen del escenario de simulación (esta ventana se muestra en el apartado 5.1.4). En esta ventana, al pulsar el botón de cargar configuración, se habilita la opción de seleccionar en el ordenador correspondiente un archivo .properties con alguna configuración creada. Al abrirlo, se cargan todos los parámetros descritos en los anteriores apartados.

A su vez, desde esta ventana se permite al usuario elegir entre varias **configuraciones predeterminadas**, las cuales son propias del simulador y no requiere la carga de ningún archivo. Estas configuraciones, bastante **básicas**, solo se diferencian en el **número de camas** y el **grado de ocupación de camas**. El resto de los parámetros quedarían igual a como están configurados en ese momento. En la Figura 18 se muestran las diferentes configuraciones predeterminadas.

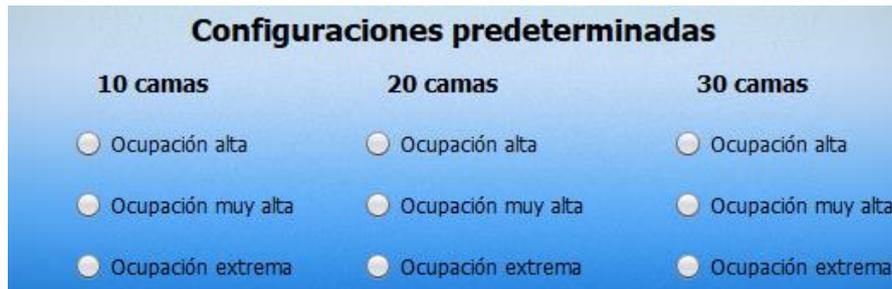


Figura 18. Configuraciones predeterminadas.

## 4.6. RECOGIDA DE INFORMACIÓN

Al finalizar la simulación, se generan unos **informes** con una **recopilación** de todo el sistema simulado. En estos informes aparecen recogidos los resultados más relevantes para la simulación, y sirven tanto para analizar de forma individual a un usuario, como para establecer comparaciones en todo el proceso de toma de decisiones.

Los informes consisten en dos documentos Word y un archivo Excel. A continuación, se describe el contenido de cada uno de ellos.

### 4.6.1. Resumen de la simulación

Consiste en un **documento Word** en el que se recogen todos los mensajes generados durante la simulación. Leyendo el archivo, una persona que no sabe el modo en el que ha transcurrido la simulación, puede hacerse una idea de las decisiones tomadas en cada momento, y los sucesos ocurridos.

La información se presenta línea por línea, mostrando en cada mensaje la hora en la que ha tenido lugar el suceso. Cada día que avanza la simulación aparece en una nueva línea y se marca de color rojo. En la Figura 19 se muestra un fragmento del informe generado.

### RESUMEN DE LA SIMULACIÓN

Este documento muestra un resumen de lo ocurrido durante la simulación.

#### MIÉRCOLES 1

08:00 MON: Sesión clínica de la mañana 1.  
08:00 SUSP: No se ha suspendido ninguna cirugía.  
08:00 CIR: Procesando 2 cirugías.  
08:00 OUT: Procesando alta de paciente QGJmKi.  
08:33 OUT: Salida de paciente QGJmKi (Cama 5).  
08:33 LIM: Inicio de limpieza de la cama 5.  
09:30 FIN: Final de limpieza de la cama 5.  
09:57 INPPRO: Ingreso de paciente programado SSWsKq (Cama 5).  
13:38 SUS: Paciente TB91Le (Cama 14).  
13:54 SUS: Paciente TEQ6Lb (Cama 10).  
15:04 SUS: Paciente QLK2KY (Cama 7).  
15:30 GAS: Gasometría de paciente QhockV (Cama 11).  
17:03 INPPRO: Ingreso de paciente programado UB1uKg (Cama 15).

Figura 19. Resumen de la simulación.

#### 4.6.2. Resultados de la simulación

Los **resultados generales** de la simulación se almacenan en otro **documento Word**. En él se recogen las tablas con los contadores estadísticos mencionados en el apartado 4.1.5.

Este documento resulta útil para evaluar las **medidas de forma global** con los resultados de diferentes usuarios. Por ejemplo, si utilizan el simulador diferentes tipos de usuario (médico, residente, estudiante...) se pueden agrupar las medidas por grupos y extraer medias de cada uno de ellos. El análisis de estos resultados resulta interesante si se desea comprobar qué tipo de usuario es suspende más cirugías, o cuál es el grupo que antes da de alta a los pacientes.

#### 4.6.3. Toma de decisiones sobre pacientes

Por último, en el **documento Excel** se recoge la toma de **decisiones del usuario durante la simulación**, pero de una forma diferente a cómo se recoge en el resumen de la simulación. Así como antes se recogía cada uno de los mensajes que podía ver el usuario durante la simulación, en este caso se generan 4 columnas rellenas con datos.

Las dos primeras columnas son rellenas con el identificador codificado de los pacientes que llegan a la UCI, independientemente de si ingresan o no y con el diagnóstico principal de estos pacientes. En la tercera columna se añade el momento de la simulación (en horas) en el cual ha llegado el paciente y en la cuarta columna se recoge el tiempo que marcaba el reloj de la simulación cuando al paciente se le ha dado de alta o cuando se le ha impedido el ingreso en la UCI (ya sea por el rechazo del ingreso o la suspensión de una cirugía).

De esta manera, se pueden **comparar las decisiones** tomadas individualmente sobre cada paciente por parte de dos usuarios diferentes. Debido a la implementación de la técnica de los números aleatorios comunes, tanto el orden como el momento de aparición de los pacientes en el sistema va a ser el mismo. Por lo tanto, las tres primeras columnas se rellenan en cada usuario de manera idéntica.

Las diferencias observadas en la cuarta columna determinan las diferentes decisiones que se han tomado. Se puede detectar cuando un usuario niega el ingreso de un paciente porque el valor de las dos últimas columnas de un paciente coincide. Por lo tanto, se pueden analizar las disimilitudes en cuanto al ingreso y altas asignadas de pacientes en concreto (si el valor es diferente significa que se les ha asignado el alta en un momento diferente). En la Figura 20 se muestra parte de los resultados generados en el Excel.

	A	B	C	D
1	Paciente	Diagnóstico principal	Llegada	Decisiones de Daniel
2	Td2sKL	Insuficiencia respiratoria aguda	0	
3	TG01Ky	Sepsis abdominal	0	104
4	QJKXKe	Parada cardiorespiratoria	0	176
5	TTcDLU	Shock séptico	0	
6	TeIUKr	Postoperatorio cirugía cardiaca	0	104
7	QGJmKi	Politraumatismo sin TCE	0	8
8	UCsgKH	Insuficiencia respiratoria aguda	0	
9	TB91Le	Postoperatorio cirugía cardiaca	0	32
10	TBjiLJ	Politraumatismo sin TCE	0	32
11	QhockV	Postoperatorio de cirugía toracica	0	32
12	TEQ6Lb	Postoperatorio cirugía cardiaca	0	32
13	QLk2KY	Postoperatorio cirugía cardiaca	0	32
14	QBNIKh	Hemorragia subaracnoidea	0	196,3499908
15	TG01Ky	Sepsis abdominal	0	128
16	SSWsKq	Postoperatorio cirugía cardiaca	8	
17	UB1uKg	Postoperatorio cirugía cardiaca	8	56
18	TFadK9	Postoperatorio de cirugía general	19,35564804	19,35564804
19	TCgUK8	Insuficiencia respiratoria aguda	28,11545563	28,11545563
20	T9z3Kv	Postoperatorio cirugía cardiaca	32	143,9166718
21	TFPeKz	Postoperatorio cirugía cardiaca	32	104
22	TdCDKa	Insuficiencia respiratoria postoperatoria	38,31958771	
23	RGgfKE	Shock séptico	46,34396362	
24	QJKXKe	Parada cardiorespiratoria	46,83222198	
25	QbRUKu	Gangrena de Fournier	46,98590088	46,98590088
26	QDBMLa	Postoperatorio cirugía cardiaca	56	104

Figura 20. Toma de decisiones sobre pacientes.

## 5. DESCRIPCIÓN DEL SIMULADOR

En el apartado anterior, se ha realizado una descripción detallada de la construcción del simulador. Pero como ya se ha dicho anteriormente, este simulador es **interactivo** con el usuario, por lo que también es necesario **describir las pantallas** que lo conforman y las acciones que se deben realizar en cada una de ellas.

En **resumen**, el contenido de este apartado explica cómo tiene que interactuar el usuario con el simulador. En primer lugar, a la hora de **iniciar el programa**, el usuario debe avanzar a través de una serie de **pantallas iniciales** en las que se debe introducir sus datos y puede **configurar un escenario** de simulación. Después, para empezar con la simulación, accede a la que se llama **pantalla principal**.

En esta pantalla, el usuario puede **observar el estado de las camas** de la UCI, así como **acceder a los datos clínicos** de cada paciente que está ingresado. El usuario también puede **asignarles el alta**. Del mismo modo, tiene a la vista un **panel** en el que se irán escribiendo las **acciones** que tengan lugar durante el desarrollo de la simulación, y una **gráfica** en la que se represente el número de pacientes que han llegado a la UCI en los días anteriores. Por último, el usuario tiene la posibilidad de consultar un **calendario con la programación quirúrgica**, lo que le puede facilitar la gestión de las camas.

A continuación, en los siguientes apartados se explican con mucho más detalle, todas las pantallas de las que consta el simulador.

### 5.1. PANTALLAS INICIALES

En primer lugar, antes de comenzar con la simulación como tal, el usuario tiene que recorrer diferentes pantallas previas. A continuación, se explica lo que puede o debe hacer en cada una de ellas.

#### 5.1.1. Inicio

La **pantalla de inicio** es la primera pantalla que aparece al abrir el simulador. Esta pantalla se muestra en la Figura 21.



Figura 21. Pantalla de inicio del simulador.

Como se ve en la imagen, únicamente cuenta con tres botones, los cuales permiten empezar con el programa, acceder a la pantalla de configuración de escenarios y salir del programa respectivamente. Lo único a tener en cuenta en esta primera pantalla es que, para poder **configurar escenarios**, es **necesario conocer el usuario y la contraseña** que lo permite. Para proporcionar dicha información, al pulsar el botón “Configuración”, aparece una ventana emergente informando al usuario del simulador sobre este detalle. En la Figura 22 aparece dicha ventana.

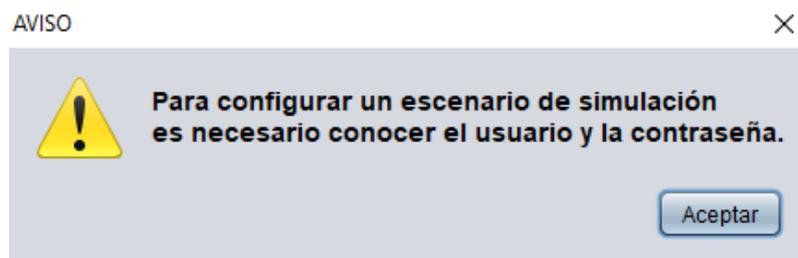


Figura 22. Ventana de aviso para la configuración de escenarios.

### 5.1.2. Configuración de escenarios

Como se acaba de decir en el apartado anterior, para poder **configurar un escenario**, es **preciso conocer el nombre de usuario y contraseña** que permite hacerlo. Después de pulsar el botón “Aceptar” de la Figura 22, se muestra una ventana en la cual se permite introducir el usuario y la contraseña. Esta ventana que limita el acceso se puede ver en la Figura 23.

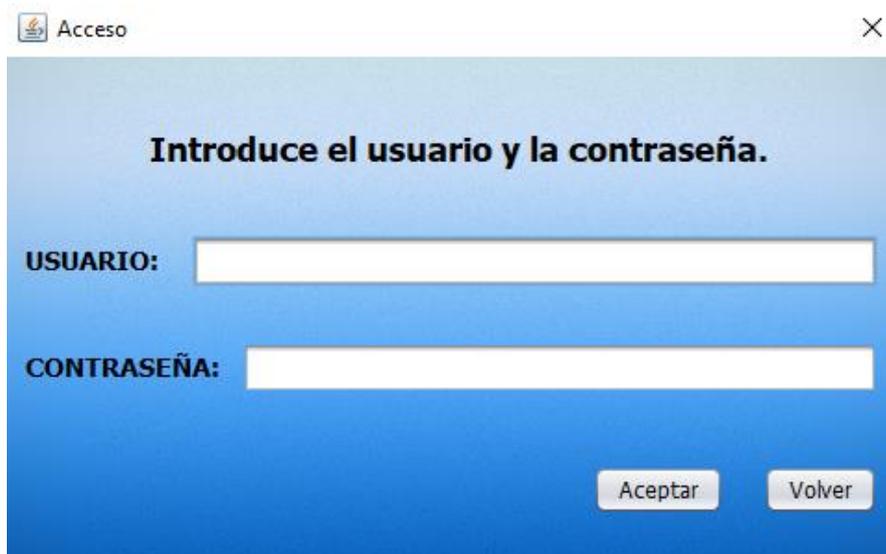


Figura 23. Pantalla que da acceso a la configuración del escenario.

Si el usuario y la contraseña se introducen de forma incorrecta, no es posible acceder a la pantalla de configuración, y aparece una ventana emergente avisando de que se están rellenando mal los campos. Dicha ventana se muestra en la Figura 24.

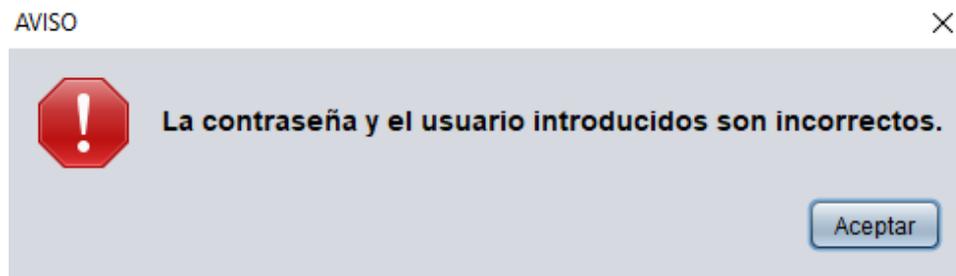


Figura 24. Ventana de aviso de contraseña y usuario incorrectos.

Si el usuario y la contraseña introducidos son los correctos, se accede a la **pantalla de configuración de escenarios**, donde se permite al usuario confeccionar el escenario que quiera por medio de la modificación de los parámetros que ya han sido explicados en el apartado 4.5. En la Figura 25 se muestra la pantalla de configuración de escenarios completa.

Configuración

### PANTALLA DE CONFIGURACIÓN DEL ESCENARIO DE SIMULACIÓN

Ingresos urgentes: 58 %	Ingresos programados: 42 %	Número de camas: 10
Cirugía Urgente: 9 %	Estancia estándar: 26 %	Grado de ocupación de camas: Alto (85%)
PTM: 9 %	Estancia prolongada: 16 %	Día de comienzo de la simulación: Lunes
Paciente hospitalizado en Servicio Médico: 16 %	<b>Total: 42 %</b>	Duración de la simulación en días: 10
Paciente hospitalizado en Servicio Quirúrgico: 7 %		Días del historial de llegadas: 20
Paciente de Urgencias/Observación: 16 %		RandomSeed: 2908833429088334
Donación/Otros: 1 %		
<b>Total: 58 %</b>		

#### TIPOS DE ALTA

Sesión de Mañana: 08:00

Sesiones de programación habitual de altas:  Sesión de Tarde: 15:00

Sesión de Noche: 22:00

Horario de altas por alta ocupación: 10:00 - 18:00

Horario de altas por saturación de la UCI: 07:00 - 24:00

Empezar    Guardar configuración    Salir

Figura 25. Pantalla de configuración del escenario de simulación.

Una vez que ha configurado un escenario, el usuario tiene la opción de **guardarlo**, pulsando el botón “Guardar configuración”, o empezar con el programa. También puede volver a la pantalla de inicio, por medio del botón “Salir”. Si el usuario decide guardar la configuración, antes de poder guardarla en el ordenador que se esté utilizando, aparece un mensaje indicando que el nombre del archivo debe finalizar con la extensión .properties para que se guarde correctamente. Este mensaje se muestra en la Figura 26.

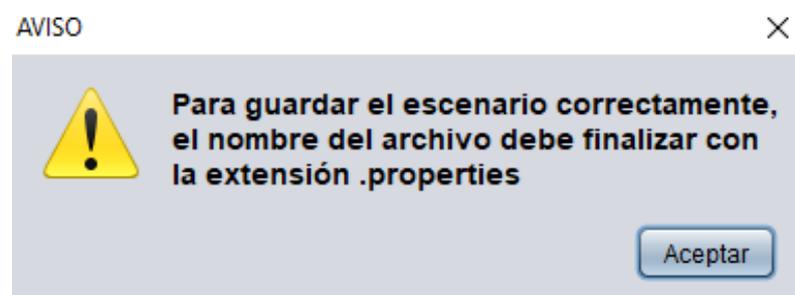


Figura 26. Ventana de aviso para guardar el escenario correctamente.

Tras pulsar el botón “Aceptar” de la imagen anterior, aparece una ventana con la que se puede acceder a los directorios del ordenador (Figura 27). Al introducir el nombre correcto, el archivo se guarda correctamente y aparece una ventana que informa de ello (Figura 28). Pero si se introduce un nombre que no es válido, se muestra un mensaje de error que advierte al usuario (Figura 29).

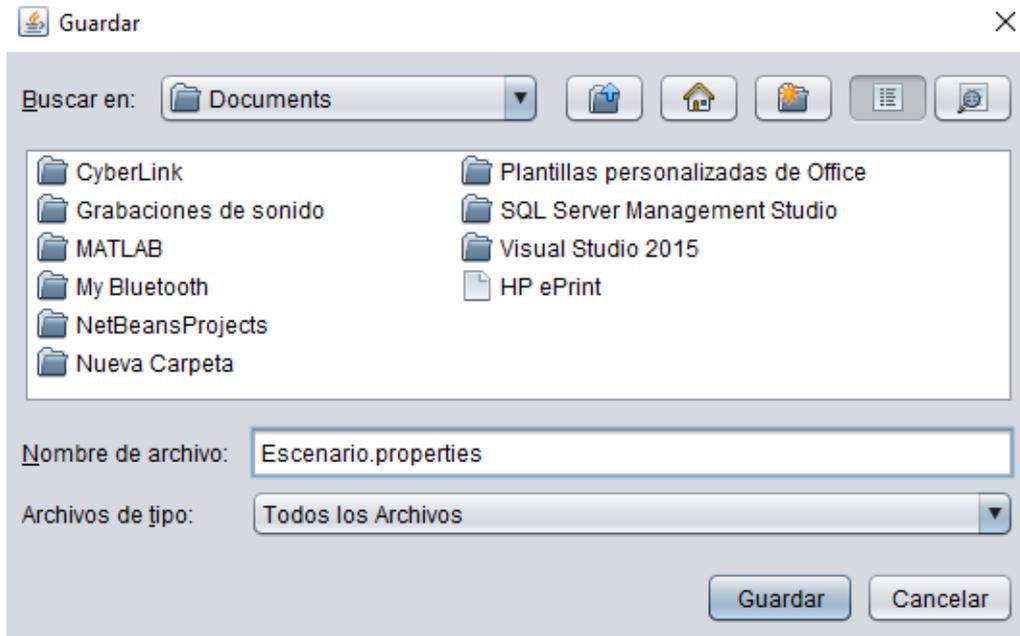


Figura 27. Ventana para guardar un escenario en el ordenador.

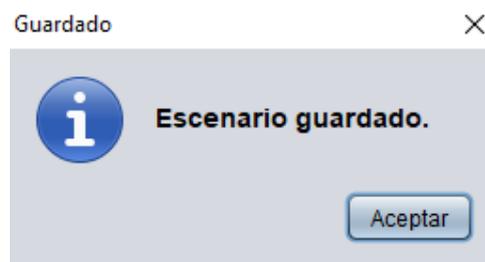


Figura 28. Ventana de escenario guardado.



Figura 29. Ventana de error en el nombre del archivo.

### 5.1.3. Datos de usuario

Tanto al pulsar el botón “Empezar” de la pantalla de inicio (Figura 21), como el botón “Empezar” de la pantalla de configuración (Figura 25), comienza el programa. La pantalla que se muestra en ambos casos es la misma, y es en la cual el **usuario** introduce varios **datos personales**. Esta ventana se muestra en la Figura 30.

Datos de usuario

**Introduzca sus datos para comenzar la simulación.**

Usuario: Daniel

Tipo: Médico

Años de experiencia en UCI: 0

Aceptar Volver

Figura 30. Pantalla donde se introducen los datos de usuario.

Estos datos, servirán para analizar diferentes decisiones entre distintos grupos. En esta pantalla, el usuario debe introducir tres datos:

- **Usuario:** En este campo, el usuario debe introducir un **nombre** que le distinga de otros usuarios. Dado que, para el análisis de los resultados el nombre de la persona que realiza la simulación no es relevante, no es necesario que se escriba un nombre o apellido real.
- **Tipo:** Mediante el desplegable, el usuario debe seleccionar su **condición**. Los diferentes tipos de usuario que se han considerados son: médico, enfermero/a, residente (R1-R5), jefe/a de servicio, estudiante, profesor/a y otro.
- **Años de experiencia en UCI:** Mediante el desplegable, el usuario debe indicar los años de experiencia en una UCI, distinguiendo entre 0, 0-5, 5-10, 10-15, 15-25, 25-35 y >35.

Por último, los dos botones que aparecen en la Figura 30 sirven para continuar con el programa (botón “Aceptar”) y volver a la pantalla de inicio (“Volver”).

#### 5.1.4. Resumen de escenario

Continuando con la simulación, se llega a la **pantalla que resume el escenario de simulación**. Si previamente se ha configurado un escenario, y se ha pulsado el botón “Empezar” desde esa pantalla (Figura 25), aparecerán todos los parámetros tal y como se habrían determinado. Si por el contrario se ha pulsado el botón “Empezar” desde la ventana de inicio (Figura 21), se mostrará una configuración predeterminada por defecto. En la Figura 31 se muestra la pantalla del resumen del escenario seleccionado para la simulación.

Resumen

### RESUMEN DEL ESCENARIO DE SIMULACIÓN

Ingresos urgentes: 58 %		Ingresos programados: 42 %	
Cirugía Urgente:	9 %	Estancia estándar:	26 %
PTM:	9 %	Estancia prolongada:	16 %
Paciente hospitalizado en Servicio Médico:	16 %	<b>Total:</b>	<b>42 %</b>
Paciente hospitalizado en Servicio Quirúrgico:	7 %		
Paciente de Urgencias/Observación:	16 %		
Donación/Otros:	1 %		
<b>Total:</b>	<b>58 %</b>		

Número de camas: 15

Grado de ocupación de camas: Extremo (>100%)

Día de comienzo de la simulación: Miércoles

Duración de la simulación en días: 10

Días del historial de llegadas: 20

RandomSheed: 123456789

#### TIPOS DE ALTA

Sesión de Mañana: 08:00

Sesiones de programación habitual de altas:  Sesión de Tarde: 15:00

Sesión de Noche: 22:00

Horario de altas por alta ocupación: 08:00 20:00

Horario de altas por saturación de la UCI: 07:00 24:00

Aceptar Cargar configuración Salir

Configuraciones predeterminadas

Figura 31. Pantalla del resumen del escenario de simulación.

Desde esta pantalla, el usuario no puede modificar los campos, únicamente se informa acerca del escenario seleccionado. Pero, por medio del botón “Cargar configuración”, sí que es capaz de **cargar** una configuración previamente definida y guardada en el ordenador. Pulsando dicho botón, en primer lugar aparece un mensaje indicando que el nombre del archivo debe finalizar con la extensión .properties para que se cargue correctamente. Este mensaje se muestra en la Figura 32.

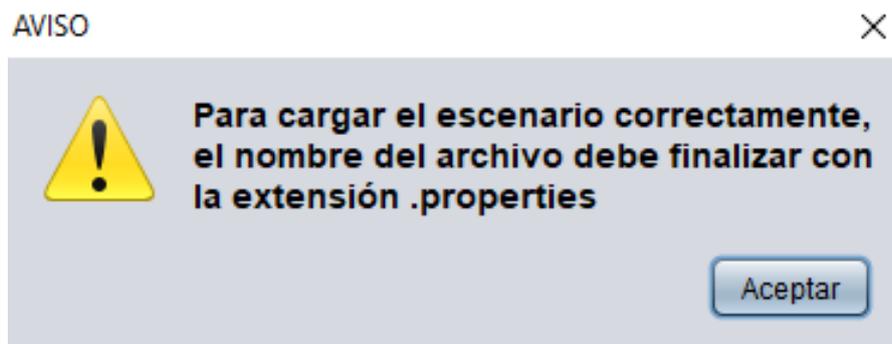


Figura 32. Ventana de aviso para cargar el escenario correctamente.

Después de pulsar el botón “Aceptar” de la imagen anterior, aparece una ventana con la que se puede acceder a los directorios del ordenador (Figura 33). Al seleccionar un archivo con la extensión correcta, se modifican los campos adecuadamente conforme a esa nueva configuración. Pero si se selecciona un archivo que no es válido, se muestra un mensaje de error que advierte al usuario (Figura 34).

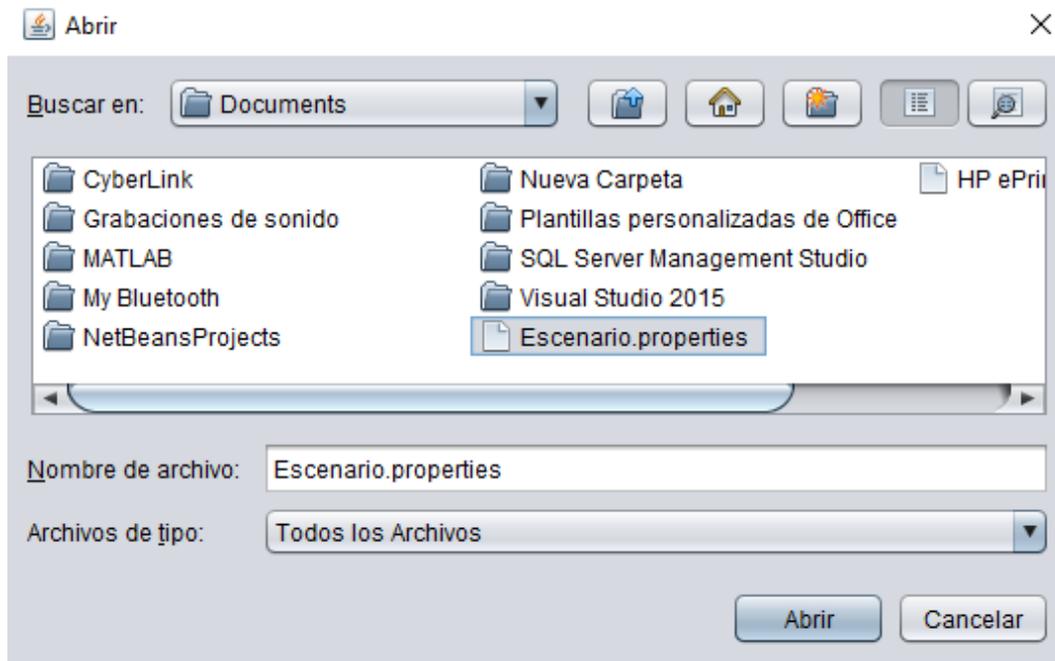


Figura 33. Ventana para cargar un escenario del ordenador.

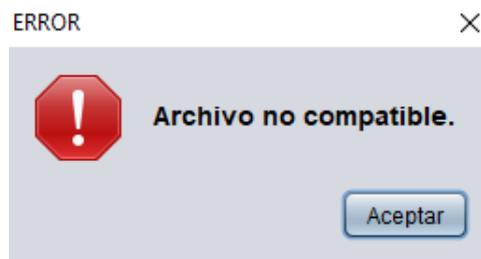


Figura 34. Ventana de error en el tipo de archivo.

Además de poder cargar configuraciones creadas anteriormente, se le permite al usuario **cargar ciertas configuraciones predeterminadas del programa**. Pulsando el botón “Configuraciones predeterminadas”, el usuario accede a una pantalla donde puede elegir entre nueve configuraciones diferentes en las que lo único que varía es el número de camas y el grado de ocupación de las mismas. Esta pantalla se muestra en la Figura 35. Por medio del botón “Abrir”, se actualizarían los parámetros correspondientes.

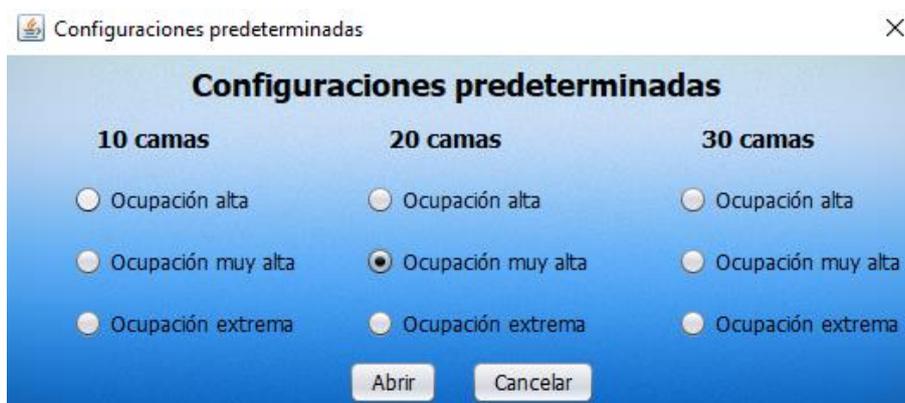


Figura 35. Pantalla de configuraciones predeterminadas.

Una vez que el usuario está conforme con parámetros presentados en la pantalla del resumen del escenario (Figura 31), para poder **empezar con la simulación** debe pulsar el botón “Aceptar” de esa pantalla. Si por el contrario no quiere realizar la simulación, por medio del botón “Salir”, regresaría a la ventana de inicio (Figura 21).

## 5.2. PANTALLA PRINCIPAL

Cuando el usuario ha terminado la primera fase de introducción de sus datos personales y elección del escenario, pulsando el botón “Aceptar” accede a la **pantalla principal**. Esta pantalla es aquella en la que se desarrolla toda la simulación de la UCI. La primera visualización de esta pantalla por parte del usuario se muestra en la Figura 36.



Figura 36. Pantalla principal del simulador.

Para que la simulación de comienzo, se debe pulsar el botón “Empezar”. En ese momento, se va **cargando la UCI con pacientes de la bolsa**, y mientras tanto, se le muestra al usuario una ventana con una barra que indica la progresión. Dicha barra se muestra en la Figura 37. Posteriormente, siempre que se quiera avanzar en la simulación, el usuario debe pulsar el botón “Continuar”, el cual se habilita cuando termina el proceso de carga de los pacientes iniciales.

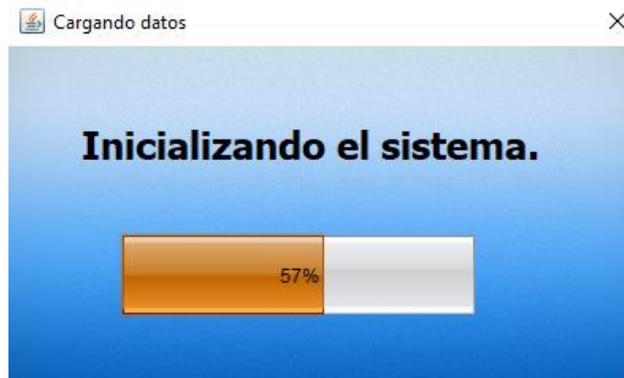


Figura 37. Ventana con una barra progresiva indicando la inicialización del sistema.

La pantalla principal se divide en **cuatro zonas diferenciadas**, las cuales pueden ser reguladas en diferentes tamaños por medio de unos separadores. Estas zonas se corresponden con el **mapa de camas de la UCI**, el **historial de acciones** durante la simulación, el **historial de llegadas** de pacientes y la **programación quirúrgica**. Cada una de ellas se va a explicar de forma independiente en los siguientes apartados.

### 5.2.1. Mapa de camas de la UCI

El **mapa de camas de la UCI** se sitúa en la parte de arriba a la izquierda de la pantalla principal. En él, el usuario puede visualizar el estado de todas las camas de la Unidad, y además cuenta con la información numérica acerca del estado de las camas (Figura 3). En la Figura 38 se muestra el mapa de camas de la UCI en un momento cualquiera de una simulación.

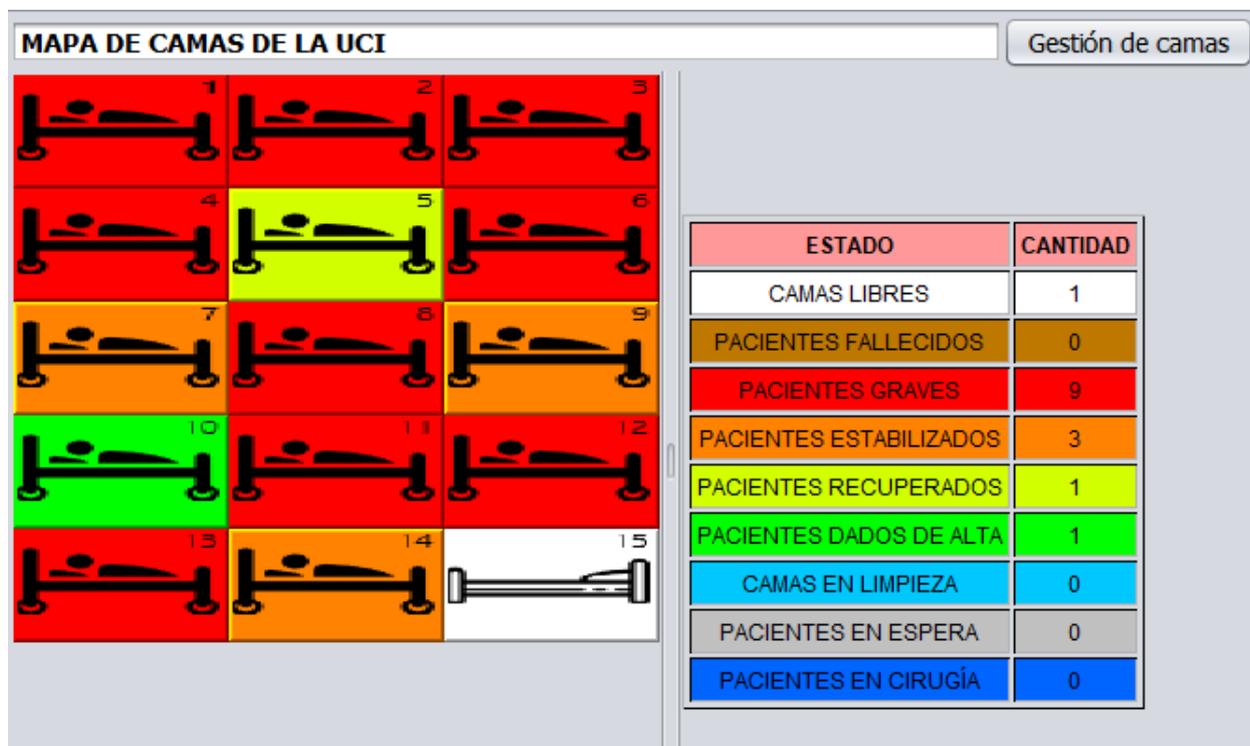


Figura 38. Mapa de camas de la UCI (1).

Como se puede apreciar en la imagen, de las 15 camas que hay presentes en la UCI, sólo una está libre (cama 15) y las otras catorce están ocupadas. De los catorce pacientes ingresados, 9 están graves (camas 1, 2, 3, 4, 6, 8, 11, 12 y 13), 3 están estabilizados, y son susceptibles de ser dados de alta (camas 7, 9 y 14), 1 está recuperado para ser dado de alta (cama 5) y 1 está dado de alta (cama 10). La tabla aporta esta información para evitar que el usuario tenga que contar los estados de las camas. En la Figura 39 y Figura 40 se han alcanzado otras situaciones de camas.

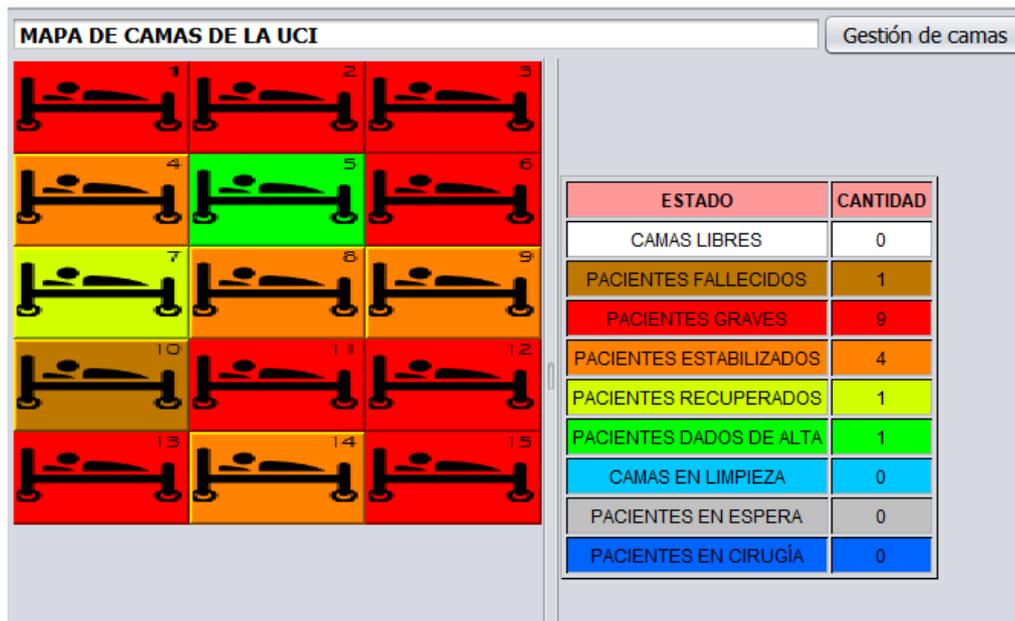


Figura 39. Mapa de camas de la UCI (2).



Figura 40. Mapa de camas de la UCI (3).

En función del estado de la cama (libre, fallecido, grave...), a la hora de pulsar sobre ella, aparece una ventana de información de cama con diferente contenido. En la Tabla 4., se indican las diferencias entre dichos estados.

Estado de cama	Imagen de cama	Días ingresado	Poder dar de alta	Poder consultar datos	Imagen de información de cama
Cama libre		NO	NO	NO	Figura 41
Paciente fallecido		SÍ	NO	NO	Figura 42
Paciente grave		SÍ	NO	NO	Figura 43
Paciente estabilizado		SÍ	SÍ	SÍ	Figura 44
Paciente recuperado		SÍ	SÍ	SÍ	Figura 45
Paciente dado de alta		SÍ	NO	NO	Figura 46
Cama en limpieza		NO	NO	NO	Figura 47
Paciente en espera		-	-	-	-
Paciente en cirugía		-	-	-	-

Tabla 4. Estado de las camas de la UCI.



Figura 41. Información de cama libre.

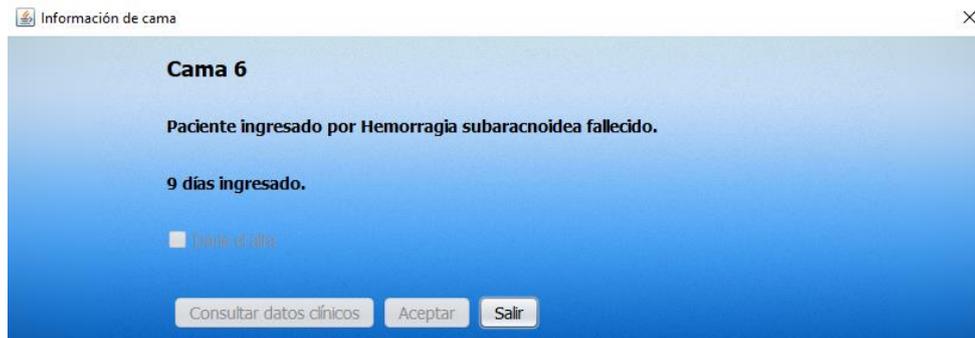


Figura 42. Información de cama con paciente fallecido.



Figura 43. Información de cama con paciente grave.

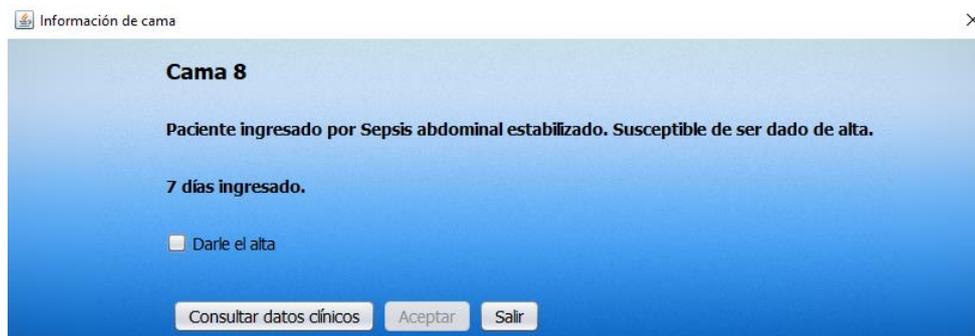


Figura 44. Información de cama con paciente estabilizado, susceptible de ser dado de alta.



Figura 45. Información de cama con paciente recuperado para ser dado de alta.



Figura 46. Información de cama con paciente dado de alta.



Figura 47. Información de cama en limpieza.

Como se muestra en la Tabla 4, el usuario sólo puede interactuar con los pacientes susceptibles de ser dados de alta y con los pacientes recuperados. En estos pacientes, puede consultar sus datos clínicos, así como asignarles el alta. En la Tabla 5, se indica toda la información acerca de los datos clínicos del paciente que el usuario puede consultar.

En cuanto a la asignación del alta, se debe marcar la casilla “Darle el alta” de la Figura 48. Al pulsar “Aceptar”, aparece una ventana emergente de confirmación (Figura 49), y si se pulsa de nuevo “Aceptar”, el paciente pasa al estado dado de alta y su color cambia a verde.



Figura 48. Información de cama de un paciente al que se le asigna el alta.

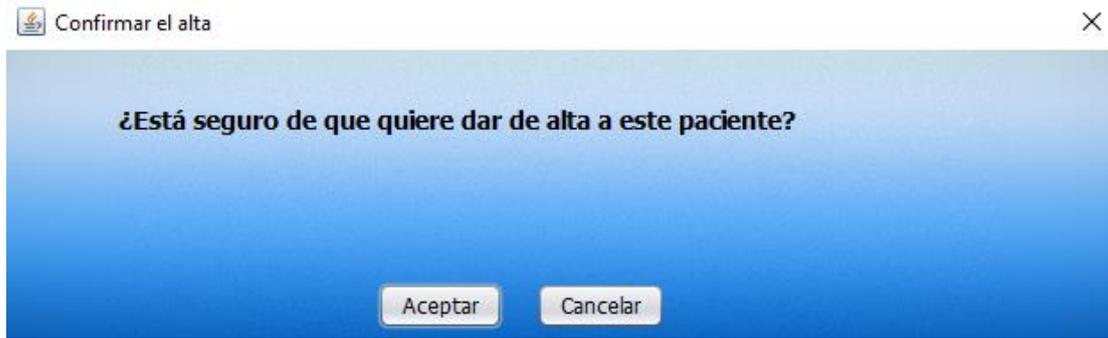


Figura 49. Ventana de confirmación del alta de un paciente.

Información clínica	Imagen de los datos
Vista general	Figura 50 y 51.
Parámetros neurológicos	Figura 52
Parámetros hemodinámicos	Figura 53
Parámetros respiratorios	Figura 54
Eventos y cuidados	Figura 55
Infecciones	Figura 56
Analíticas	Figura 57 y 58
Gasometrías	Figura 59
Parte médico	Figura 60, 61, y 62.
Parte de enfermería	Figura 63, 64, y 65.

Tabla 5. Información de los datos clínicos del paciente.

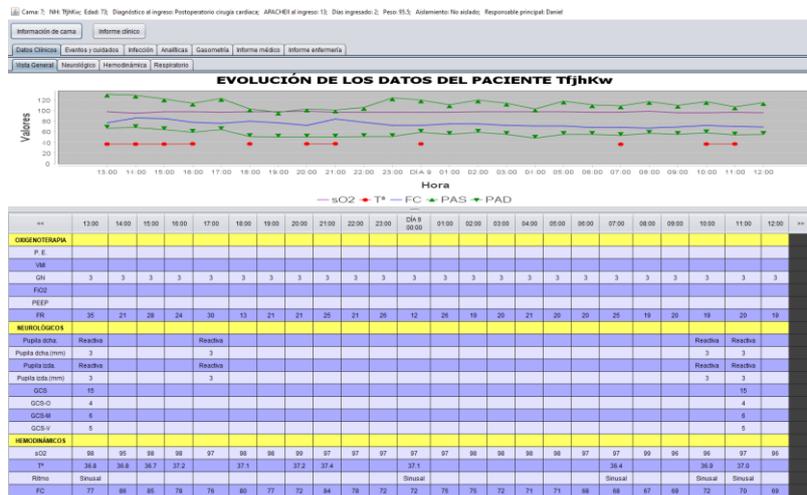


Figura 50. Vista general (1).

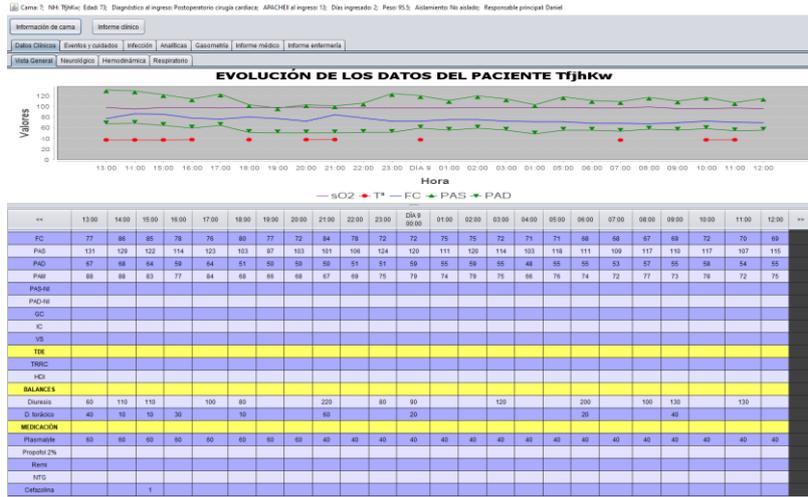


Figura 51. Vista general (2).



Figura 52. Parámetros neurológicos.

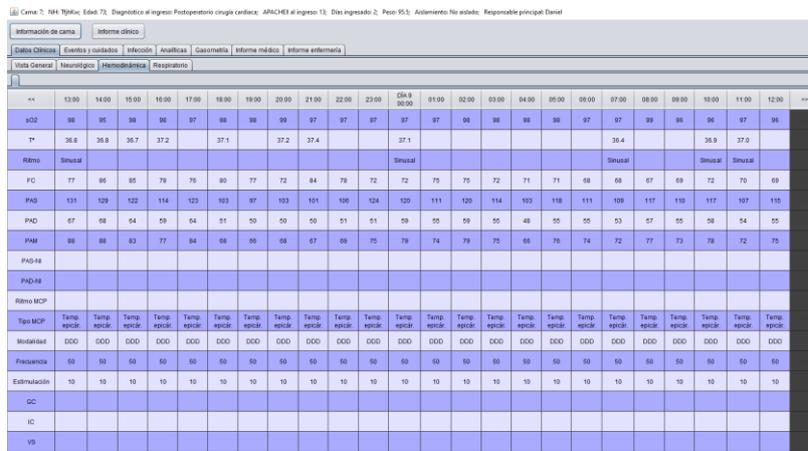


Figura 53. Parámetros hemodinámicos.

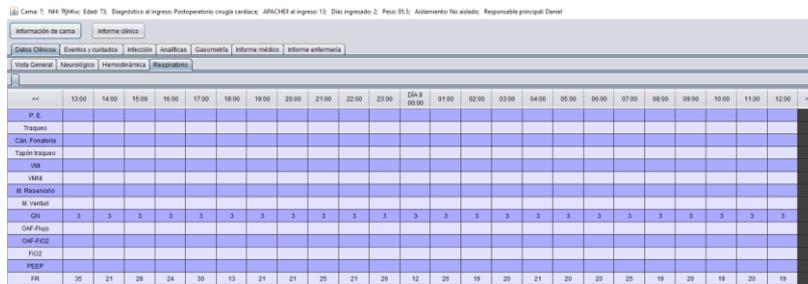


Figura 54. Parámetros respiratorios.



Cam 7, HA 79Muc, Edad 70, Diagnóstico al ingreso Postoperatorio cirugía cardíaca, ARIQHEI al ingreso 13, Día ingresado 2, Peso 95.5, Aislamiento No aislado, Responsable principal Daniel

Información de cama | Informe clínico

Datos Clínicos | Eventos y cuidados | Infección | Análisis | Gasometría | Informe médico | Informe enfermería

	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	DÍA 9 00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	
No hay eventos																									

Figura 55. Eventos y cuidados.

Cam 7, HA 79Muc, Edad 70, Diagnóstico al ingreso Postoperatorio cirugía cardíaca, ARIQHEI al ingreso 13, Día ingresado 2, Peso 95.5, Aislamiento No aislado, Responsable principal Daniel

Información de cama | Informe clínico

Datos Clínicos | Eventos y cuidados | Infección | Análisis | Gasometría | Informe médico | Informe enfermería

PARÁMETROS	NO TIENE INFECCIONES
Día de comienzo de infección	
Infección	
Origen	
Respuesta	
Germe 1	
Germe 2	
Germe 3	
Antibiótico 1	
Día de inicio de Antibiótico 1	
Día final de Antibiótico 1	
Antibiótico 2	
Día de inicio de Antibiótico 2	
Día final de Antibiótico 2	
Antibiótico 3	
Día de inicio de Antibiótico 3	
Día final de Antibiótico 3	
Antibiótico 4	
Día de inicio de Antibiótico 4	
Día final de Antibiótico 4	
Antibiótico 5	
Día de inicio de Antibiótico 5	
Día final de Antibiótico 5	

Figura 56. Infecciones.

Cam 7, HA 79Muc, Edad 70, Diagnóstico al ingreso Postoperatorio cirugía cardíaca, ARIQHEI al ingreso 13, Día ingresado 2, Peso 95.5, Aislamiento No aislado, Responsable principal Daniel

Información de cama | Informe clínico

Datos Clínicos | Eventos y cuidados | Infección | Análisis | Gasometría | Informe médico | Informe enfermería

PARÁMETROS	MIÉRTES 7	MÉRCOLES 8	JUEVES 9
Hemoglobina (g/dL)	12.7	12.5	9.9
Hematocrito (%)	36.4	36.3	29.1
Leucocitos (x10 <sup>9</sup> /L)	4.7	8.6	9.4
Neutrófilos (%)	52.0	86.5	79.1
Linfocitos (%)	36.2	8.9	13.8
Monocitos (%)	9.3	4.6	6.9
Eosinófilos (%)	2.3	0.1	0.2
Basófilos (%)	0.3		
Plaquetas (x10 <sup>9</sup> /L)	53.0	62.0	50.0
Tiempo de protrombina (sec)	16.0	16.0	17.0
Actividad de protrombina (%)	69.0	66.0	60.0
UREA	1.26	1.3	1.39
A.P.T.T. (sec)	31.5	29.9	30.0
Glucosa (mg/dL)			
Urea (mg/dL)	60.0	59.0	62.0
Creatinina (mg/dL)	1.33	1.61	1.22
Filtrado glomerular (ml/min/1.73m <sup>2</sup> )	53.0	42.0	58.0
Protéina, g (g/dL)		6.6	
Albumina, g (g/dL)		4.1	
Bilirrubina, g (mg/dL)			
Aspartato transferasa, U (U/L)		59.0	
Alamina transferasa, U (U/L)		22.0	
Gamma-Glutamiltransferasa (U/L)			
Fosfatasa alcalina, U (U/L)			
Lactato deshidrogenasa, g (U/L)			
Triglicerina, g (g/dL)		11721.0	3669.6
Creatina cinasa, U (U/L)		936.0	2685.0
CK-MB		34.4	24.0
Alb-Albuma (U/L)		50.0	
Lactato			
Sodio (mmol/L)	136.0	142.0	141.0

Figura 57. Analíticas (1).

Cam 7, HA 79Muc, Edad 70, Diagnóstico al ingreso Postoperatorio cirugía cardíaca, ARIQHEI al ingreso 13, Día ingresado 2, Peso 95.5, Aislamiento No aislado, Responsable principal Daniel

Información de cama | Informe clínico

Datos Clínicos | Eventos y cuidados | Infección | Análisis | Gasometría | Informe médico | Informe enfermería

PARÁMETROS	MIÉRTES 7	MÉRCOLES 8	JUEVES 9
Monocitos (%)	9.3	4.6	6.9
Eosinófilos (%)	2.3	0.1	0.2
Basófilos (%)	0.3		
Plaquetas (x10 <sup>9</sup> /L)	53.0	62.0	50.0
Tiempo de protrombina (sec)	16.0	16.0	17.0
Actividad de protrombina (%)	69.0	66.0	60.0
UREA	1.26	1.3	1.39
A.P.T.T. (sec)	31.5	29.9	30.0
Glucosa (mg/dL)			
Urea (mg/dL)	60.0	59.0	62.0
Creatinina (mg/dL)	1.33	1.61	1.22
Filtrado glomerular (ml/min/1.73m <sup>2</sup> )	53.0	42.0	58.0
Protéina, g (g/dL)		6.6	
Albumina, g (g/dL)		4.1	
Bilirrubina, g (mg/dL)			
Aspartato transferasa, U (U/L)		59.0	
Alamina transferasa, U (U/L)		22.0	
Gamma-Glutamiltransferasa (U/L)			
Fosfatasa alcalina, U (U/L)			
Lactato deshidrogenasa, g (U/L)			
Triglicerina, g (g/dL)		11721.0	3669.6
Creatina cinasa, U (U/L)		936.0	2685.0
CK-MB		34.4	24.0
Alb-Albuma (U/L)		50.0	
Lactato			
Sodio (mmol/L)	136.0	142.0	141.0
Potasio (mmol/L)	4.1	4.6	4.0
Cloruro (mmol/L)	106.0	105.0	107.0
Calcio (II) (mg/dL)			8.2
Procalcitonina (ng/mL)			
Protéina C reactiva (mg/dL)			

Figura 58. Analíticas (2).

PARÁMETROS	MARTES 7	MÉRCOLES 8	JUEVES 9
Hora	21:40	07:00	07:10
pH	7.41	7.44	7.41
pCO2 (mmHg)	40.0	40.0	47.0
pO2 (mmHg)	332.0	151.0	137.0
Lactato (mmol/L)	1.5	1.4	0.7
Saturación (%)	100.0	99.3	99.9
HCO3 (mmol/L)	26.6	28.4	31.2
Exceso de bases (mmol/L)	0.8	3.0	5.2

Figura 59. Gasometrías.

**MARTES 7 PARTE EVOLUTIVO MÉDICO**

Postoperatorio de cirugía cardíaca.  
Recambio valvular aórtico.  
Ciclo vital satisfactorio con estenosis severa e insuficiencia moderada-severa. Dilatación de aorta ascendente.  
Calificación del punto vital en reposación satisfactoria. FEVI normal. PIPe no estimada por ausencia de IT. O2 normal.  
- Curvas hemodinámicas con tratamiento farmacológico, hipertensivas, dilatación ventricular y presencia de vena porta derecha.

Figura 60. Parte médico (1).

**MÉRCOLES 8 PARTE EVOLUTIVO MÉDICO**

Instituto de diagnóstico por imagen por IMA. Balance de líquidos: 1500 ml. Hemodinámica estable sin indicación. Diuresis de 4300 ml. Balance negativo de 3 litros. Drainaje de 400 ml. No lías con buena atracción bilateral.  
Saturación adecuada con oxígeno y ventilación. Analítica: qm 387 - 836 troponina 5.400 - 11.750 Hct 36,3 Hb 12,1 Leucocitos 8.500 NLR 0,8 INR 1,3 urea 59 creatinina 1,61 PT 6,6 aPTT 44,6 GOT 59 GPT 22 amilasa 50 Na 142 K 4,6 Plaquetas 62.000.  
ECG: Ritmo sinusal. PR normal. Pecho sin alteraciones. Buena auscultación cardiopulmonar. Adormecimiento distal.  
Refractario a sedación. Buena tolerancia a la ventilación y a los analgésicos. Buena gasometría arterial y mecánica respiratoria correcta. SMO2 70,4.

Figura 61. Parte médico (2).

**JUEVES 9 PARTE EVOLUTIVO MÉDICO**

Buena evolución en las últimas horas.  
Conciencia estable. Colaborador.  
Estable hemodinámicamente. Ritmo sinusal.  
Comunicación respiratoria, buena tolerancia. No lías similar a ginecología.  
Buena tolerancia nutrición oral.

Figura 62. Parte médico (3).

**MARTES 7 PARTE EVOLUTIVO DE ENFERMERÍA**

**SITUACIÓN NEUROLÓGICA**  
Conciencia: Desorientado  
Movilidad: No valorado  
Riesgo neurológico: No  
Comunicación: No valorado  
Déficit visual: No valorado

**SITUACIÓN CARDIO-RESPIRATORIA**  
Ritmo cardíaco: Sinusal  
Tasa MCP: Temporal apéndice  
Frecuencia respiratoria: Espontánea  
Respiración: Normal  
Auscultación pulmonar: Normal  
ECG: Sinusal  
Cambios: Auscultado  
Paciente intubado

**SISTEMA NEFRO-URINARIO**  
Diuresis: Concentrada

**SISTEMA DIGESTIVO**  
Alimentación: Blando y tolerable  
Dieta: Adecuada  
Deposiciones: No que /

**PARTE DE ENFERMERÍA**  
- Intubado con tubo a nivel T4-5. Puntos de fijación.  
- Hemodinámica estable, al ingreso con perfusión de nitroglicerina que se retira. Normotensa, mantiene TMI, en ritmo marcapasos de 80, en ritmo propio sinusal de 45. Afecto. Buena oxigenación percutánea, débito cardíaco normal, no lías. Cambio de posición de vena central por sangrado.  
- Buen control de la vena de la línea más próxima. Pecho sin alteraciones (sin verba).  
- Adaptado al respirador, mantiene saturaciones, no secreciones, ple BAP.  
- Filtrado, las tres últimas horas, diuresis bien.  
- No que /  
- Piel íntegra.

NRS 27.0 TSS-28 31.0 Escala RASS -3: Sedación moderada

Figura 63. Parte de enfermería (1).

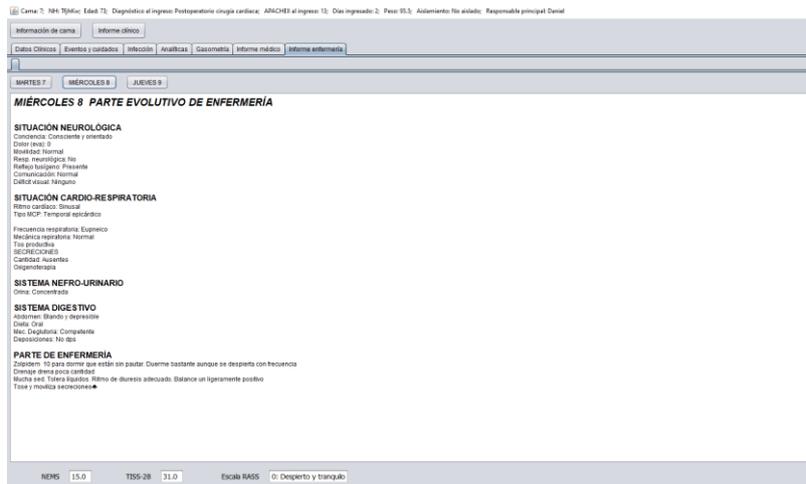


Figura 64. Parte de enfermería (2).

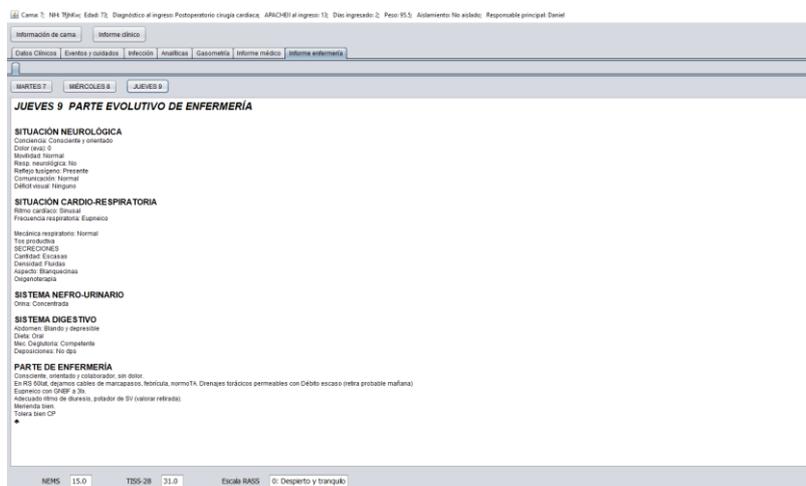


Figura 65. Parte de enfermería (3).

El informe clínico del paciente no tiene asociada una imagen porque no se visualiza como tal desde el programa. Al pulsar el botón “Informe clínico”, directamente se abre un documento Word con la información pertinente. El Anexo C muestra un ejemplo de informe clínico asociado a un paciente.

Por último, existe un botón “Gestión de camas” que sirve para poder llevar un **control** sobre los **pacientes** que están **susceptibles de ser dados de alta**. Al pulsar sobre este botón, aparece una **tabla con los pacientes estabilizados** (Figura 66), en la cual se puede introducir un orden concreto de salida de estos pacientes, o cualquier otro comentario que considere interesante acerca del paciente. De esta manera, el usuario no tiene que estar continuamente consultando los datos de estos pacientes, y en el momento que necesita asignar un alta precoz, puede valerse de la información que ha rellenado en dicha tabla.

Gestionar pacientes susceptible. ×

**GESTIÓN DE PACIENTES SUSCEPTIBLES DE SER DADOS DE ALTA**

En la siguiente tabla se puede indicar el orden de salida de los pacientes susceptibles de ser dados de alta.

CAMA	PACIENTE	DIAGNÓSTICO PRINCIPAL	EDAD	ORDEN
7	QLk2KY	Postoperatorio cirugía cardiaca	71	4
9	TelUKr	Postoperatorio cirugía cardiaca	67	2
10	TEQ6Lb	Postoperatorio cirugía cardiaca	73	1
14	TB91Le	Postoperatorio cirugía cardiaca	74	3

Aceptar

Figura 66. Ventana de gestión de pacientes susceptibles de ser dados de alta.

### 5.2.2. Historial de acciones durante la simulación

El **historial de acciones** es un panel que recoge toda la información asociada a los **acontecimientos** que están teniendo lugar a lo largo de la simulación, y se sitúa en la parte superior derecha de la pantalla principal. La **información** aparece claramente **separada en los diferentes días**, y todo el texto que contiene este panel es el que se escribe al finalizar la simulación en el documento Word del **resumen de la simulación**, mencionado en el apartado 4.6.1. Un ejemplo de la información que se recoge en el historial de acciones se puede ver en la Figura 67.

**HISTORIAL DE ACCIONES DURANTE LA SIMULACIÓN**

13:07	LIM: Inicio de limpieza de la cama 11.
13:12	OUT: Salida de paciente QDBMLA (Cama 15).
13:12	LIM: Inicio de limpieza de la cama 15.
13:42	FIN: Final de limpieza de la cama 15.
13:56	FIN: Final de limpieza de la cama 11.
14:00	INPEXT: Ingreso EXTRAORDINARIO de paciente TPg7Km (Cama 11).
14:00	FIN: Final de limpieza de la cama 8.
<b>LUNES 6</b>	
07:30	SAN: Paciente TG01Ky (Cama 4).
08:00	MON: Sesión clínica de la mañana 6.
08:00	SUSP: No se ha suspendido ninguna cirugía.
08:00	CIR: Procesando 2 cirugías.
08:00	OUT: Procesando alta de paciente TG01Ky.
09:18	INPPRO: Ingreso de paciente programado TMWYLQ (Cama 8).
10:42	OUT: Salida de paciente TG01Ky (Cama 4).
10:42	LIM: Inicio de limpieza de la cama 4.
11:33	FIN: Final de limpieza de la cama 4.
14:25	INPPRO: Ingreso de paciente programado RAuLLM (Cama 4).
14:25	GAS: Gasometría de paciente RAuLLM (Cama 4).
20:22	INP: Llegada de paciente urgente TFadK9.
20:22	ING: Procesando ingreso del paciente TFadK9 (Cama 15).
23:55	FALL: Fallecimiento de paciente T9z3Kv (Cama 7).
<b>MARTES 7</b>	
00:12	INP: Llegada de paciente urgente QBLdKo.
00:12	ESP: Procesando cuidados en espera del paciente QBLdKo.
00:36	OUT: Salida de paciente T9z3Kv (Cama 7).
00:36	LIM: Inicio de limpieza de la cama 7.
01:11	FIN: Final de limpieza de la cama 7.
01:18	INP: Llegada de paciente urgente TPg7Km.
01:18	WAR: Sistema lleno, paciente TPg7Km desviado a otro sistema.
01:54	INPEXT: Ingreso EXTRAORDINARIO de paciente QBLdKo (Cama 7).
01:54	GAS: Gasometría de paciente QBLdKo (Cama 7).
01:59	SUS: Paciente RAuLLM (Cama 4).
03:07	INP: Llegada de paciente urgente RGgfKE.
03:07	WAR: Sistema lleno, paciente RGgfKE desviado a otro sistema.

Figura 67. Panel del historial de acciones durante la simulación.

Como se ve en la imagen anterior, la mayoría los mensajes presentan el **mismo formato**, a excepción de aquéllos que marcan los días en los que tienen lugar las acciones. Estos mensajes se marcan de color amarillo y no tienen una hora asociada. El resto de los mensajes, comienzan con la **hora en la que tiene lugar el suceso** al que hacen referencia, y se marcan del **color correspondiente a dicho suceso**. De esta manera, la **detección** de mensajes concretos por parte del usuario es más **rápida**, ya que puede realizar una búsqueda en base al color. En el panel de ejemplo mostrado en la Figura 67, se pueden ver mensajes de color verde, que hacen referencia al alta de un paciente, mensajes de color azul, que hacen referencia a la limpieza de las camas, o mensajes de color naranja que hacen referencia a los pacientes susceptibles de ser dados de alta.

El historial de acciones es un panel que resulta muy **útil** para conocer los **eventos** que han tenido lugar **entre dos paradas de la simulación**. En el apartado 4.1.2 en el cual se han explicado todos los eventos, se ha mencionado en cuáles de ellos se produce una parada de la simulación. En los casos en los que no se realiza dicha parada, el usuario no puede saber qué ha ocurrido, a no ser que consulte el historial de las acciones donde se recogen todos los sucesos.

### 5.2.3. Historial de llegadas de pacientes

El **historial de llegadas de los pacientes**, el cual ya se ha mencionado en el apartado 4.3.1, se sitúa en la parte inferior izquierda de la pantalla principal. Consiste en una gráfica de barras bicolor, en la que se muestra el **número de llegadas a la UCI** tanto de **pacientes urgentes** (color rojo), como de **pacientes programados** (color azul). Son llegadas que se producen independientemente de si ingresan o no. La gráfica en un momento concreto de la simulación se muestra en la figura 68.

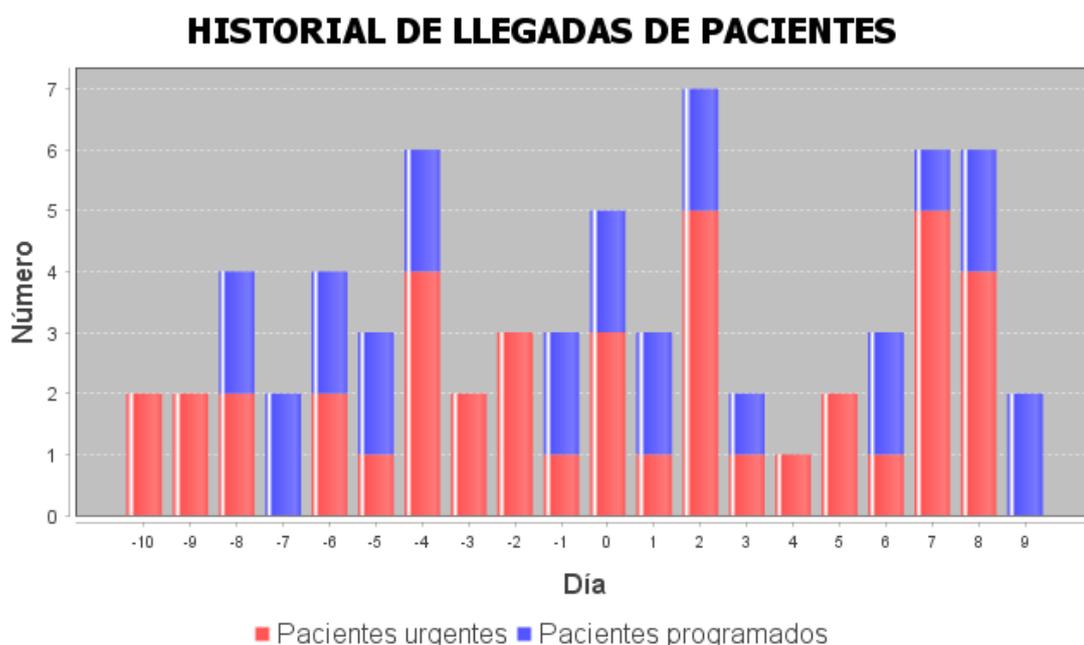


Figura 68. Gráfica con el historial de llegadas de pacientes a la UCI.

En la gráfica puede apreciarse cómo hay días en negativo y días en positivo. Los **días en positivo** se corresponden con los **días en los que la simulación tiene lugar** como tal, con la interacción con el usuario. En el caso de esta gráfica mostrada, el día número 1 corresponde con el primer día de la simulación, configurado en miércoles. Durante estos días, la gráfica se va actualizando con los pacientes reales que llegan durante la simulación.

Por su parte, tanto **el 0 como los días en negativo**, se corresponden con los **días anteriores al comienzo de la simulación** (martes 0, lunes -1, domingo -2...). Para completar la gráfica de estos días, se simulan legadas de pacientes, y se muestran en el primer día de la simulación.

Mediante la consulta de esta gráfica, el usuario puede hacerse a la idea de la **cantidad de pacientes que llegan a la UCI**, y así poder **planificar mejor las altas y los ingresos** de los pacientes durante el desarrollo de la simulación. Por último, hay que añadir que para el usuario es fácil detectar los sábados y domingos, ya que son los días en los que no se realizan cirugías programadas. En la Figura 68, el día 4 y 5 corresponden con el sábado y domingo respectivamente, y como se observa en la gráfica, en esos días no se ha producido ninguna llegada de pacientes programados.

#### 5.2.4. Programación quirúrgica

La **programación quirúrgica** está situada en la parte inferior derecha de la pantalla principal. En esta zona de la pantalla, se pueden consultar las **cirugías programadas** de la semana actual, y si se ha llegado al viernes, también las cirugías de la semana siguiente. En la Figura 69 se muestra la zona de la pantalla referente a la programación quirúrgica.

PROGRAMACIÓN QUIRÚRGICA <span>Gestionar cirugías</span>						
LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
		1	2	3	4	5
		Programadas: 2 Suspendidas: 0	Programadas: 2 Suspendidas: 1	Programadas: 1 Suspendidas: 0	Programadas: 0 Suspendidas: 0	Programadas: 0 Suspendidas: 0
6	7	8	9	10		
Programadas: 2 Suspendidas: 0	Programadas: 1 Suspendidas: 0	Programadas: 2 Suspendidas: 0	Programadas: 2 Suspendidas: 0	Programadas: 2 Suspendidas: 0		

Figura 69. Panel con la programación quirúrgica.

Además, como se aprecia en la imagen, existe un botón “Gestionar cirugías” con el que se decide en las sesiones clínicas de mañana, las **cirugías que se confirman o se suspenden**. Al pulsar sobre él, aparece una ventana como la de la Figura 70. En esta ventana, en la parte superior, se explica cómo se lleva a cabo a cabo la

confirmación o suspensión de las cirugías, y se indica al usuario las cirugías que puede confirmar como máximo, en función del estado de las camas de la UCI y de las altas que se pueden asignar para ingresar a nuevos pacientes.

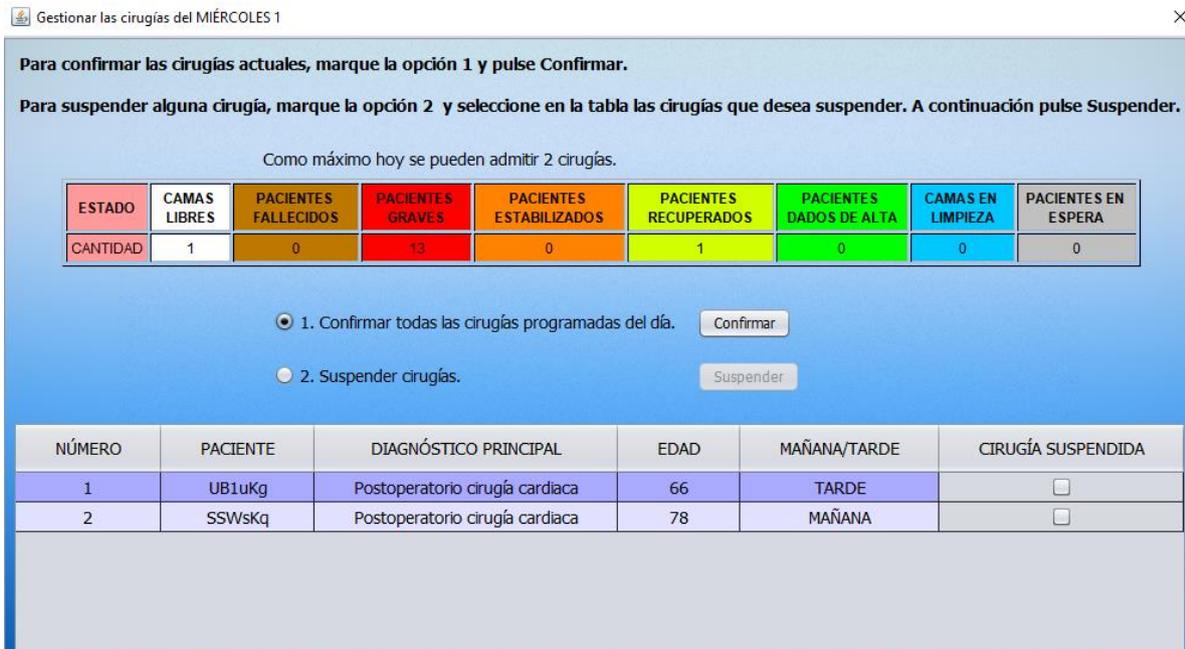


Figura 70. Ventana de gestión de cirugías (1).

En la imagen anterior se puede apreciar que en ese momento se pueden **admitir como máximo 2 cirugías**, ya que se tiene una cama libre y un paciente recuperado para ser dado de alta. Por lo tanto, se pueden confirmar ambas cirugías de ese día, pulsando el botón “Confirmar”. La información que dispone el usuario sobre las cirugías para tomar esta decisión es el **diagnóstico principal del paciente**, su **edad** y el **momento en el que se realiza dicha cirugía**.

Como también ocurre en otras partes del simulador, el programa pide una **confirmación** de la acción que se está llevando a cabo, y además advierte al usuario de las altas que serán necesarias para llevar a cabo dicha acción. En la Figura 71 se muestra la ventana que aparece en el caso de pulsar el botón “Confirmar” de la imagen anterior.

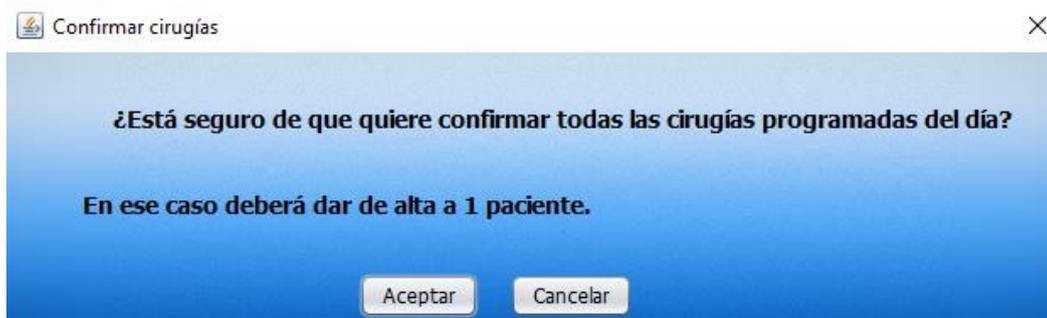


Figura 71. Ventana de confirmación de las cirugías seleccionadas (1).

En ese momento, el usuario puede no estar seguro sobre la asignación del alta de un paciente (en este caso sí está claro porque es un paciente recuperado, pero podría

ser uno estabilizado). Por lo que, si pulsa “Cancelar”, volvería a la ventana de la Figura 70, y podría **posponer la decisión de confirmar las cirugías** para consultar los datos clínicos los pacientes a los que se puede asignar el alta. Si en ese momento el usuario decide dar de alta a un paciente, después a la hora de confirmar las cirugías, la ventana que aparece es la que se muestra en la Figura 72, en la que se indica al usuario que no es necesario dar de alta a ningún paciente.

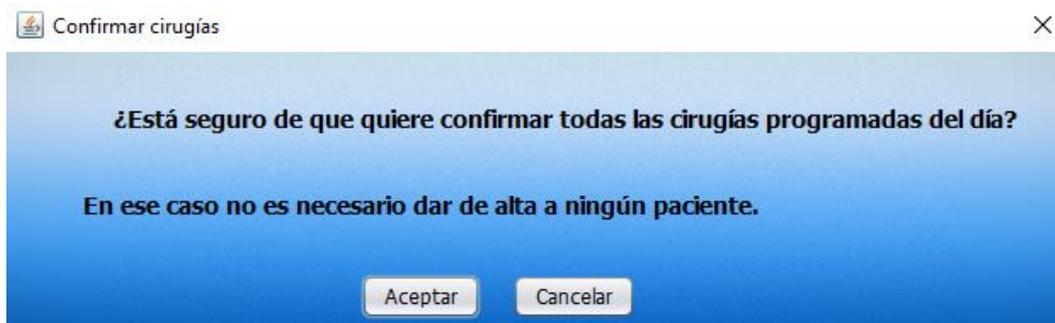


Figura 72. Ventana de confirmación de las cirugías seleccionadas (2).

Existen otras situaciones a la hora de gestionar las cirugías, en las que el usuario **no va a poder confirmarlas todas**, aunque quisiera, ya que el programa no se lo va a permitir al no haber posibilidad de liberar camas ocupadas. Este caso se muestra en la Figura 73, en la que se indica al usuario que **como máximo se puede admitir una cirugía**.

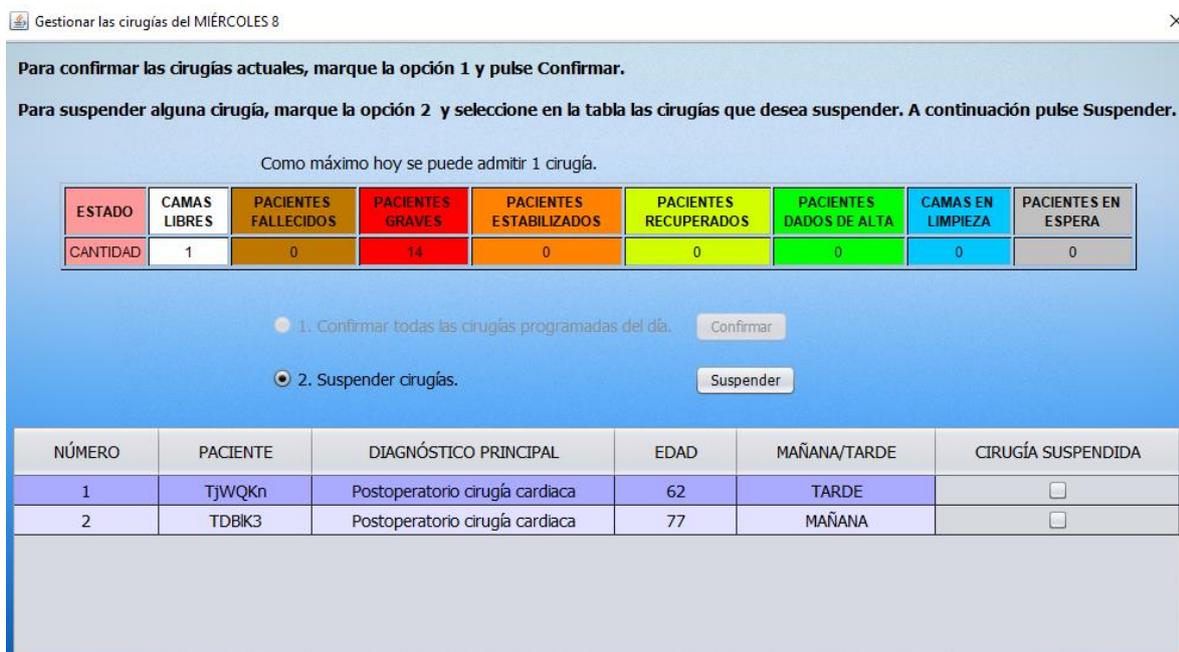


Figura 73. Ventana de gestión de cirugías (2).

En este caso, se debe marcar la casilla de la tabla de la columna “CIRUGÍA SUSPENDIDA” del paciente que se quiera suspender la cirugía. Una vez seleccionada, al pulsar sobre el botón “Suspender”, aparece la ventana de la Figura 74 para confirmar la suspensión.



Figura 74. Ventana de suspensión de las cirugías seleccionadas.

Después de pulsar “Aceptar” en la ventana anterior, se regresa a la ventana de gestión de cirugías, en la que las cirugías ya **suspendidas se marcan de color gris** (Figura 75). Si se han suspendido las suficientes de manera que las que se confirmen puedan ser admitidas en el sistema, se habilita el botón “Confirmar”, y tras una indicación sobre las posibles altas de pacientes que se puedan necesitar (Figura 71 y Figura 72), se termina el proceso de gestión de las cirugías.

Para confirmar las cirugías actuales, marque la opción 1 y pulse Confirmar.

Para suspender alguna cirugía, marque la opción 2 y seleccione en la tabla las cirugías que desea suspender. A continuación pulse Suspender.

Como máximo hoy se puede admitir 1 cirugía.

ESTADO	CAMAS LIBRES	PACIENTES FALLECIDOS	PACIENTES GRAVES	PACIENTES ESTABILIZADOS	PACIENTES RECUPERADOS	PACIENTES DADOS DE ALTA	CAMAS EN LIMPIEZA	PACIENTES EN ESPERA
CANTIDAD	1	0	14	0	0	0	0	0

1. Confirmar todas las cirugías programadas del día.

2. Suspender cirugías.

NÚMERO	PACIENTE	DIAGNÓSTICO PRINCIPAL	EDAD	MAÑANA/TARDE	CIRUGÍA SUSPENDIDA
1	TjWQKn	Postoperatorio cirugía cardiaca	62	TARDE	<input type="checkbox"/>
2	TDBK3	Postoperatorio cirugía cardiaca	77	MAÑANA	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 75. Ventana de gestión de cirugías (3).

En la Figura 69 se muestra que el usuario puede consultar el estado de las cirugías de los días anteriores al actual (número de cirugías programadas y cuántas se han suspendido) y la programación quirúrgica de los días posteriores. Pero, además, al pulsar sobre los paneles de cada día, se pueden **abrir ventas con una información más detallada** en la que se indica toda la información sobre las cirugías de ese día, tanto la información básica del paciente (diagnóstico principal y edad) como las cirugías en concreto que se han suspendido.

A continuación, en la Figura 76 se muestra la ventana correspondiente a un día en el que hay 2 cirugías (si es un día anterior significa que se han confirmado las 2, pero si es un día posterior significa que hay programadas 2 cirugías). En la Figura 77, se

muestra la ventana en un día en el que se ha suspendido una cirugía de las dos que había programadas para ese día, mientras que en la Figura 78, se muestra la ventana en un día en el que no hay cirugías programadas, como son todos los sábados y domingos (también podría ser un día entre semana en el que no haya cirugías).

NÚMERO	PACIENTE	DIAGNÓSTICO PRINCIPAL	EDAD	MAÑANA/TARDE	CIRUGÍA SUSPENDIDA
1	UB1uKg	Postoperatorio cirugía cardiaca	66	TARDE	<input type="checkbox"/>
2	SSWsKq	Postoperatorio cirugía cardiaca	78	MAÑANA	<input type="checkbox"/>

Figura 76. Ventana con la programación quirúrgica de un día (1).

NÚMERO	PACIENTE	DIAGNÓSTICO PRINCIPAL	EDAD	MAÑANA/TARDE	CIRUGÍA SUSPENDIDA
1	TJWQKn	Postoperatorio cirugía cardiaca	62	TARDE	<input type="checkbox"/>
2	TDBK3	Postoperatorio cirugía cardiaca	77	MAÑANA	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 77. Ventana con la programación quirúrgica de un día (2).

**Programación quirúrgica del SÁBADO 4**

**NO hay cirugías programadas.**

Figura 78. Ventana con la programación quirúrgica de un día (3).

### 5.3. VENTANAS EMERGENTES

Durante el desarrollo de la simulación, aparecen diferentes **ventanas emergentes** tanto para guiar al usuario con algunas acciones como para informar de la ocurrencia de algún evento. Tales ventanas se explican a continuación.

#### 5.3.1. Sesiones clínicas

Las **sesiones clínicas** son aquellos momentos del día en los que los médicos se reúnen para **decidir sobre el alta de los pacientes ingresados**, y en el caso de que haya **cirugías programadas**, decidir cuáles se **confirman** y cuáles se **suspenden**. En la Figura 79 se muestra la ventana que indica al usuario el inicio de la sesión clínica de mañana, en la cual además se deben gestionar las cirugías programadas para ese día.

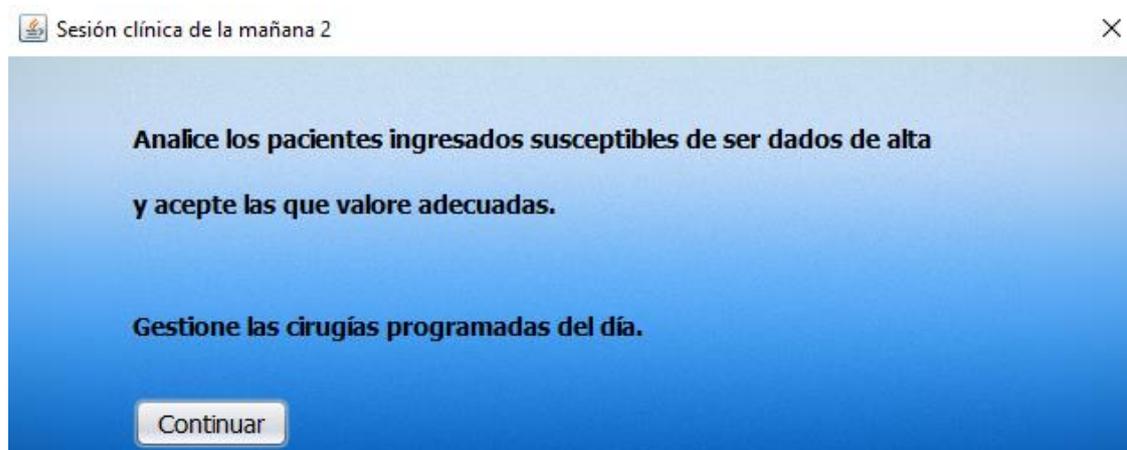


Figura 79. Ventana de sesión clínica de mañana (1).

Cuando la simulación llega al **fin de semana**, en las sesiones clínicas de mañana **no hay que gestionar cirugías**, porque no se realizan intervenciones esos días. A su vez, dependiendo de la configuración del escenario, puede darse el caso de que un día entre semana tampoco haya cirugías programadas. En estos casos, la ventana emergente que indica la sesión clínica de mañana es como la que se muestra en la Figura 80.

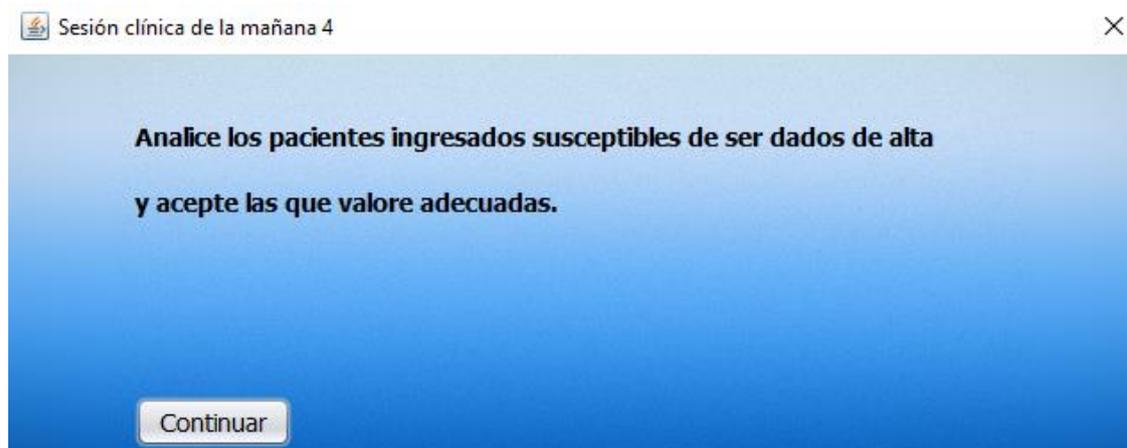
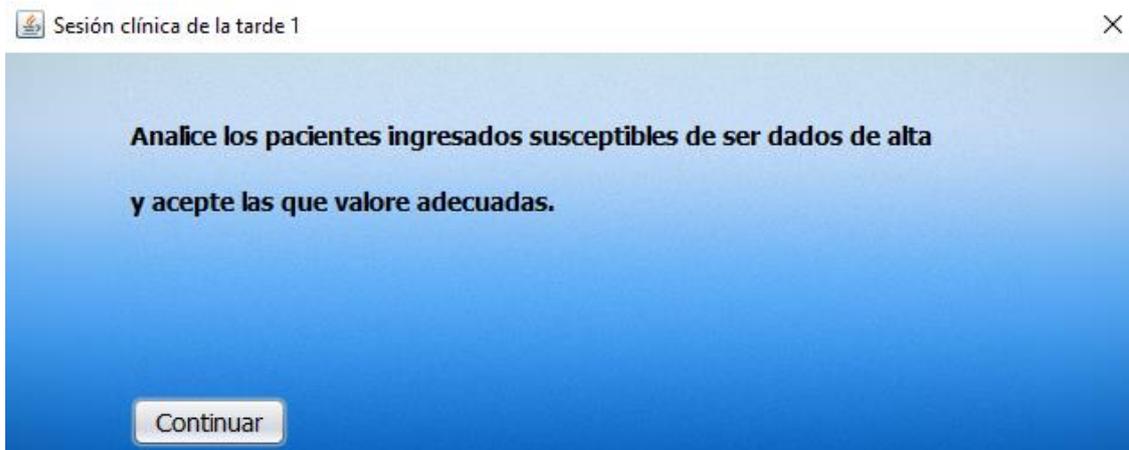
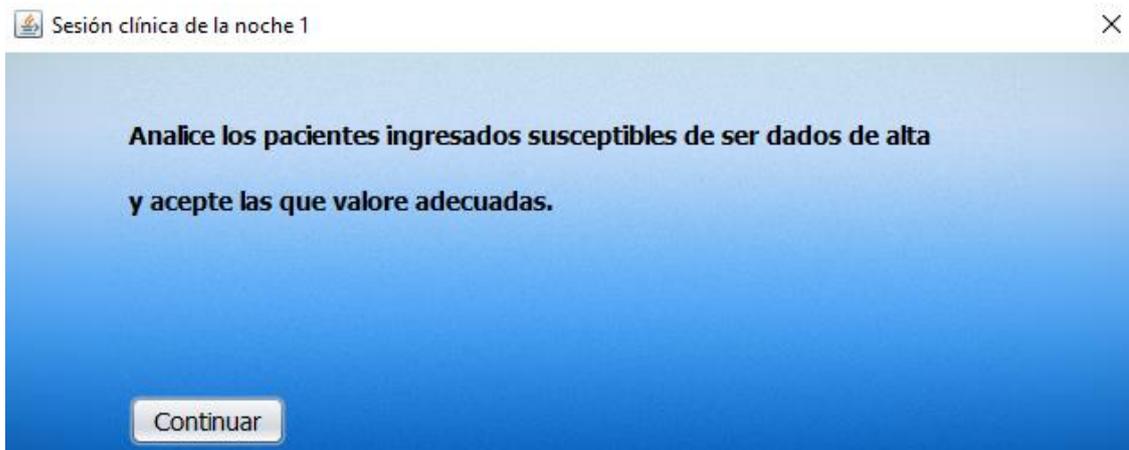


Figura 80. Ventana de sesión clínica de mañana (2).

Por último, se tienen las ventanas emergentes en las **sesiones de tarde y de noche** en el caso de que se hayan configurado. Dichas ventanas tienen la misma apariencia que la imagen anterior, y se pueden ver en la Figura 81 y Figura 82.



*Figura 81. Ventana de sesión clínica de tarde.*



*Figura 82. Ventana de sesión clínica de noche.*

### 5.3.2. Llegadas de pacientes urgentes

Otro tipo de ventanas que aparecen durante el transcurso de la simulación son las que indican la **llegada de un paciente urgente a la UCI**. En estas ventanas se indica el paciente que llega informando de su **diagnóstico principal y su edad**. A continuación, se van a explicar las **diferentes situaciones en las que un paciente puede llegar a la UCI**, y las opciones que éste tiene para su ingreso.

En primer lugar, un paciente urgente puede llegar a la UCI en la **situación más favorable** posible para él, en la cual hay camas libres en la Unidad. En este caso, las se puede realizar el ingreso sin problemas, pero también se deja libre la opción al usuario de poder derivarlo a otro servicio o UCI si considera que en el futuro podría necesitar esa cama. La ventana que aparece en este caso para que el usuario decida se muestra en la Figura 83.



Figura 83. Ventana de llegada de paciente urgente a la UCI (1).

En el resto de los casos, no se da una situación tan favorable para el paciente que llega. Por un lado, puede ocurrir que en el momento de la llegada del paciente a la UCI sí que haya **camas libres**, pero que **estén reservadas para pacientes en cirugía** que aún no han ingresado. En estos casos, el usuario **no puede ingresar al paciente** como en el caso anterior, ya que se generaría un **conflicto por una cama**. Entonces debe **decidir** si se **deriva al paciente a otro servicio o UCI** (con lo que la simulación continúa directamente), o si considera que está muy grave, **ingresarlo de manera forzosa-obligatoria** (si es posible).

Si el usuario tiene la opción de poder **ingresar al paciente de manera forzosa**, puede ser por dos razones. Porque hay **camas que se van a liberar en breve** (ya sea porque un paciente ya ha sido dado de alta, un paciente haya fallecido o estén en labores de limpieza en una cama (todos estos estados se consideran como cama ocupada)), como se muestra en la Figura 84; o porque haya **pacientes presentes en la UCI a los que se les puede asignar el alta** para dejar su cama disponible al nuevo paciente, como se muestra en la Figura 85. En este segundo caso, el usuario debe asignar un alta para poder continuar con la simulación.



Figura 84. Ventana de llegada de paciente urgente a la UCI (2).

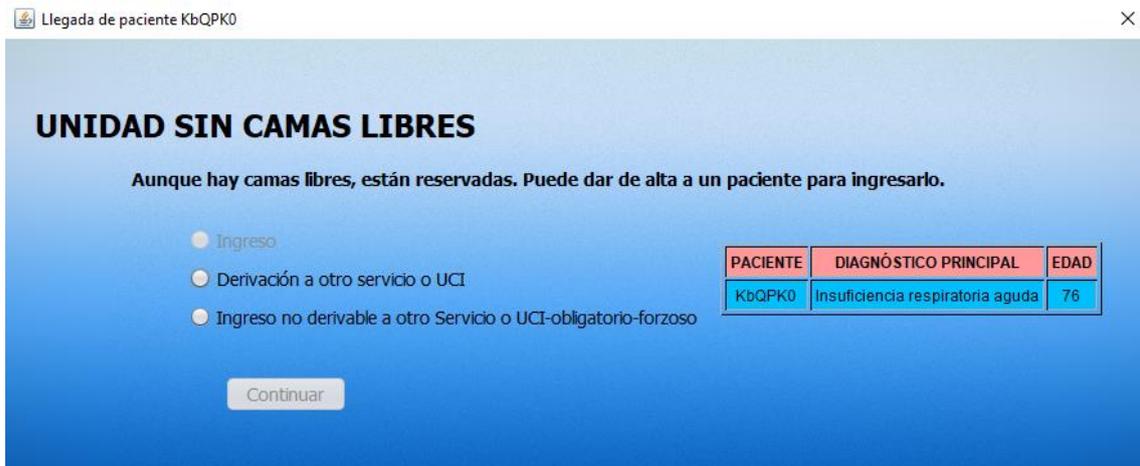


Figura 85. Ventana de llegada de paciente urgente a la UCI (3).

Por otro lado, puede ocurrir que, en el momento de la llegada del paciente urgente, **no haya camas disponibles**. Con lo que se repetirían las **mismas situaciones** que las comentadas en el párrafo anterior. El usuario podría derivar al paciente a otro sistema, o realizar un ingreso forzoso (con la necesidad de asignar altas o no en función de si se liberan camas, como en la Figura 86; o no, como en la Figura 87).



Figura 86. Ventana de llegada de paciente urgente a la UCI (4).

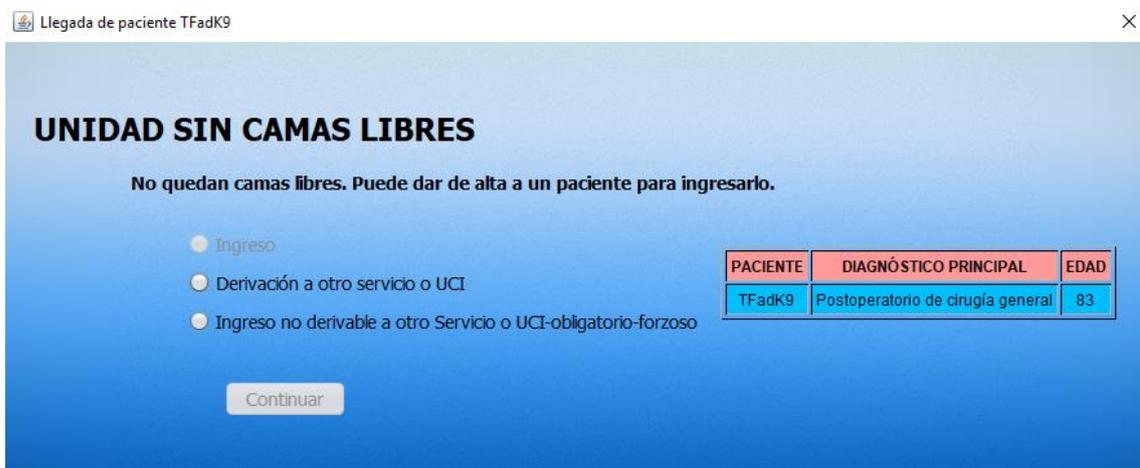


Figura 87. Ventana de llegada de paciente urgente a la UCI (5).

Por último, se puede dar el caso de que, en el momento de la llegada de un paciente urgente a la UCI, **no sea posible ingresarlo de ninguna de las maneras**, debido a las siguientes situaciones:

- **Hay camas libres** en la UCI, pero están **reservadas**, y además el paciente que llega lo hace en una **hora en la que no se pueden asignar altas** (Figura 88).
- **Hay camas libres** en la UCI, pero están **reservadas**, y además **no hay pacientes** a los que se les pueda **asignar el alta** (Figura 89).
- **No hay camas libres**, y además el paciente que llega lo hace en **una hora en la que no se pueden asignar altas** (Figura 90).
- **No hay camas libres**, y además **no hay pacientes** a los que se les pueda **asignar el alta** (Figura 91).



Figura 88. Ventana de llegada de paciente urgente a la UCI (6).



Figura 89. Ventana de llegada de paciente urgente a la UCI (7).



Figura 90. Ventana de llegada de paciente urgente a la UCI (8).

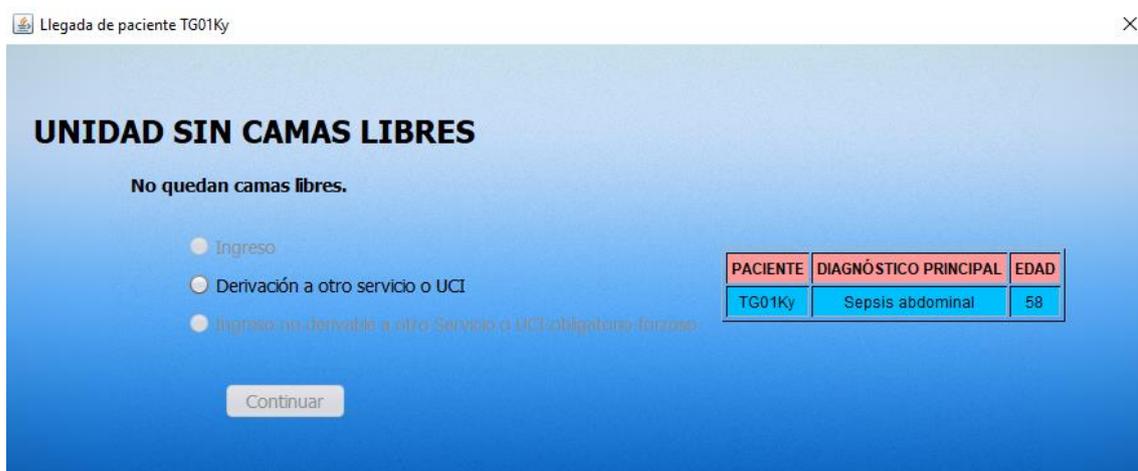


Figura 91. Ventana de llegada de paciente urgente a la UCI (9).

### 5.3.3. Notificaciones

Por último, a la hora de facilitar al usuario el manejo del programa, se muestran **mensajes informativos o de aviso** sobre lo que tiene que hacer para poder continuar con la simulación. Estos mensajes pueden ayudar bastante, sobre todo para los usuarios que utilizan el programa por primera vez.

La mayoría de los mensajes son en relación con el **número de pacientes que deben ser dados de alta** para poder continuar con la simulación. Cuando se confirman o se ingresa a un paciente de manera forzosa, se muestra un mensaje de este tipo, para indicar al usuario el número de altas que debe asignar. En la Figura 92 se muestra el mensaje que aparece en el caso de que no haya que asignar el alta a ningún paciente, mientras que en la Figura 93, se muestra el mensaje que aparece cuando se debe dar de alta a uno o más pacientes.

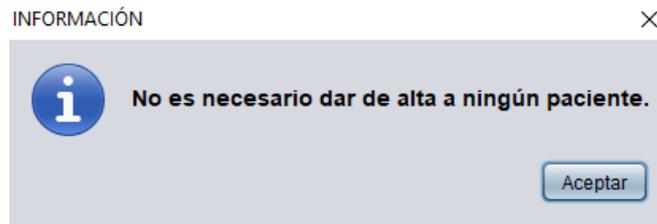


Figura 92. Ventana de información sobre el alta de pacientes (1).

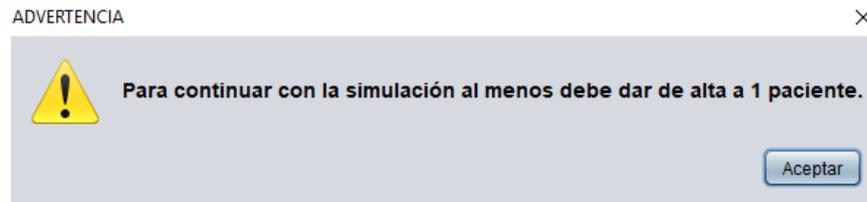


Figura 93. Ventana de información sobre el alta de pacientes (2).

En el segundo caso en el que es necesario dar de alta a un paciente, hasta que el usuario no la asigna, no se puede continuar con la simulación. En el caso de que pulse el botón “Continuar” de la pantalla principal (Figura 36) sin asignar las altas correspondientes, volverá a aparecer dicho mensaje, indicando las altas que quedan por asignar.

El otro tipo de mensaje que aparece para avisar al usuario es el que le indica que debe **concluir el proceso de gestión de cirugías**. Es decir, en las sesiones clínicas de mañana en las que haya cirugías programadas, debe terminar con la decisión de cuáles se confirman y cuáles se suspenden. Hasta que no se termina este proceso, al intentar continuar aparece el mensaje que se muestra en la Figura 94.

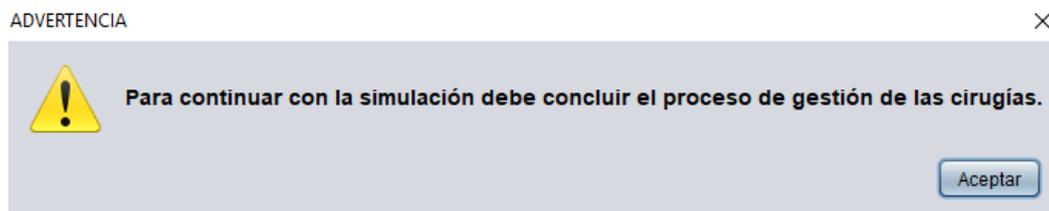


Figura 94. Ventana de información sobre la gestión de las cirugías.

## 5.4. FINALIZACIÓN DE LA SIMULACIÓN

El usuario puede **acabar con la simulación de la UCI** de dos maneras distintas. Por un lado, **realizando la simulación completa** de los días señalados en la configuración del escenario, y por otro, **abandonando la simulación** en cualquier momento de ésta.

### 5.4.1. Ejecución completa de la simulación

Si el usuario realiza una **ejecución completa del programa**, significa que ha llegado al final de la simulación. El momento final serán las 00:00 del día posterior al final de la simulación. Por ejemplo, en una simulación de 10 días que empieza en miércoles, en el momento que acabe la simulación, el reloj se habrá parado a las 00:00 del sábado 11. Esto se muestra en la Figura 95.

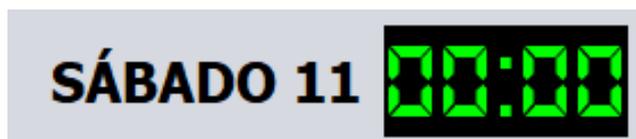


Figura 95. Reloj de la simulación en el momento final.

A su vez, aparece un mensaje emergente avisando de que la simulación ha finalizado. Este mensaje se puede ver en la Figura 96.

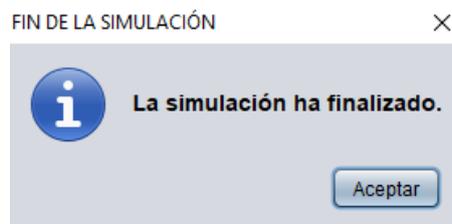


Figura 96. Ventana de información de la finalización de la simulación.

Por último, como ya se ha dicho en el apartado 4.6, se **generan dos documentos Word, y un documento Excel** para recoger los resultados. Para informar al usuario de que dichos documentos se han generado de forma correcta se muestran las ventanas de la Figura 97 y Figura 98.

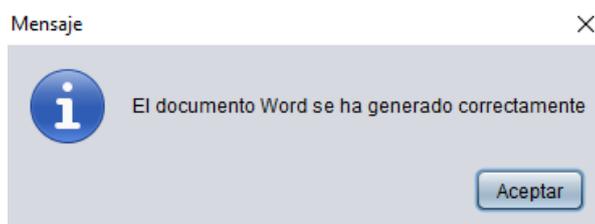


Figura 97. Ventana de información de la creación del documento Word.

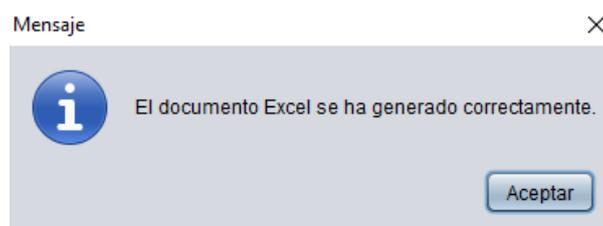


Figura 98. Ventana de información de la creación del documento Excel.

#### 5.4.2. Abandono de la simulación en curso

Durante el transcurso de la simulación, así como al realizar una simulación completa, el usuario puede **salir de la simulación, reiniciar la simulación** o **acceder a la pantalla de resumen del escenario de simulación** para elegir otro diferente y ejecutarlo. Para ello, debe pulsar ciertos botones que ahora se explican situados en la pantalla principal (Figura 36).

En primer lugar, para **abandonar la simulación**, el usuario debe pulsar sobre el botón “Salir”, el cual se muestra en la Figura 99. Tras pulsarlo, aparecerá una ventana con mensaje preguntando si realmente se desea salir, ya que, si no se ha concluido la

simulación, **se perderán los progresos actuales**. Dicha ventana se muestra en la Figura 100.

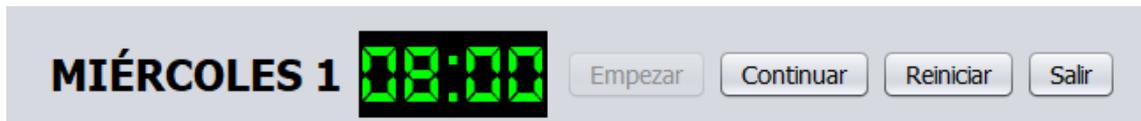


Figura 99. Panel con los botones del control de la simulación.

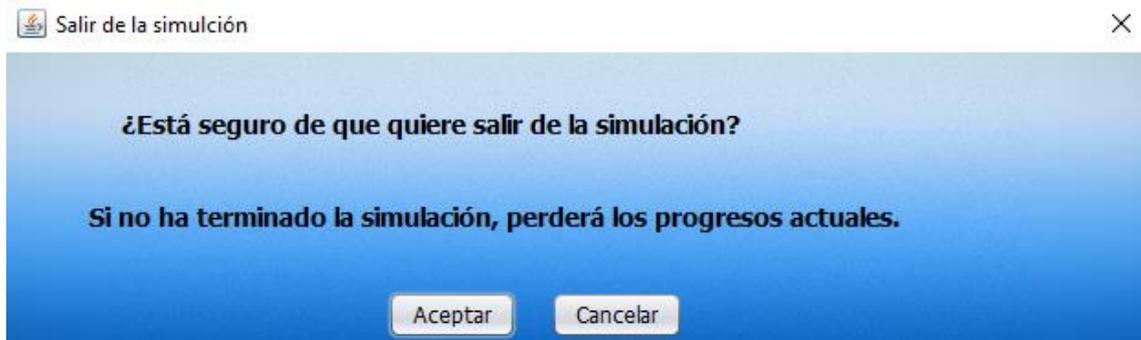


Figura 100. Ventana de confirmación de la salida de la simulación.

Si el usuario pulsa el botón "Aceptar", aparecerá la ventana de inicio (Figura 21). A su vez, con el botón "Reiniciar" de la Figura 99, el usuario puede **volver a empezar la simulación con la misma configuración**. Gracias a los números aleatorios comunes, explicados en el apartado 4.4, se repetirá exactamente la misma simulación. Antes de empezar de nuevo, igualmente se muestra una ventana de confirmación del reinicio de la simulación. (Figura 101).

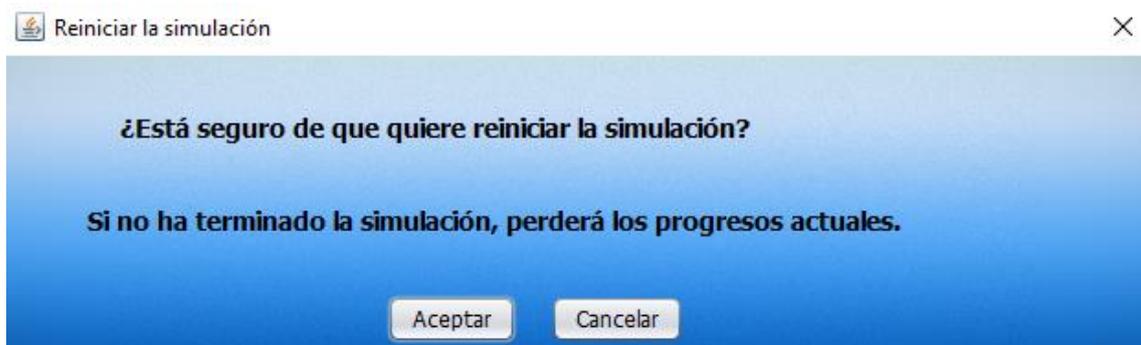


Figura 101. Ventana de confirmación del reinicio de la simulación.

Por último, desde la pantalla principal se puede acceder a la **pantalla del resumen del escenario de simulación** (Figura 31) en cualquier momento del desarrollo de la simulación. Para ello, el usuario debe pulsar en la pestaña "Archivo" de la pantalla principal y seleccionar "Nueva configuración". En la Figura 102 se muestra esta opción.



Figura 102. Pantalla principal del simulador con la pestaña de nueva configuración.

Al igual que si se desea salir de la simulación, o reiniciarla, el programa pide la **confirmación** por parte del usuario, ya que, si se accede a esa pantalla de resumen, se pierden los progresos actuales. En la Figura 103 se muestra la ventana correspondiente a la confirmación.

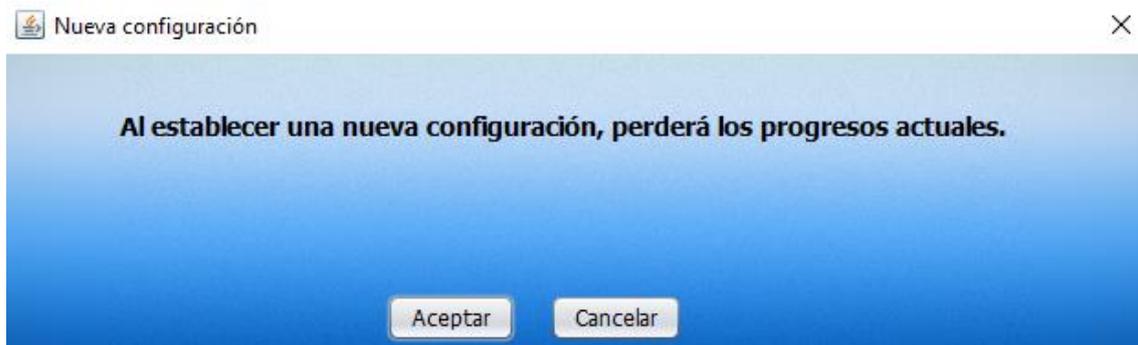


Figura 103. Ventana de confirmación de una nueva configuración.

## 5.5. DIAGRAMA DE FLUJO

Como se ha ido explicando a lo largo de los apartados anteriores, el usuario puede realizar diferentes recorridos a través de las pantallas del simulador. Para evitar confusiones, y aclarar las posibles navegaciones que se pueden hacer, se ha realizado un **diagrama de flujo** en el que se visualizan todos los caminos posibles.

Este diagrama de flujo se muestra en la Figura 104, en el que cada cuadro representa una pantalla diferente (como sus nombres indican). Cada flecha indica el modo en el que se relacionan las pantallas, y el texto que viene escrito junto a ellas, informa acerca del botón que lleva a la siguiente pantalla.

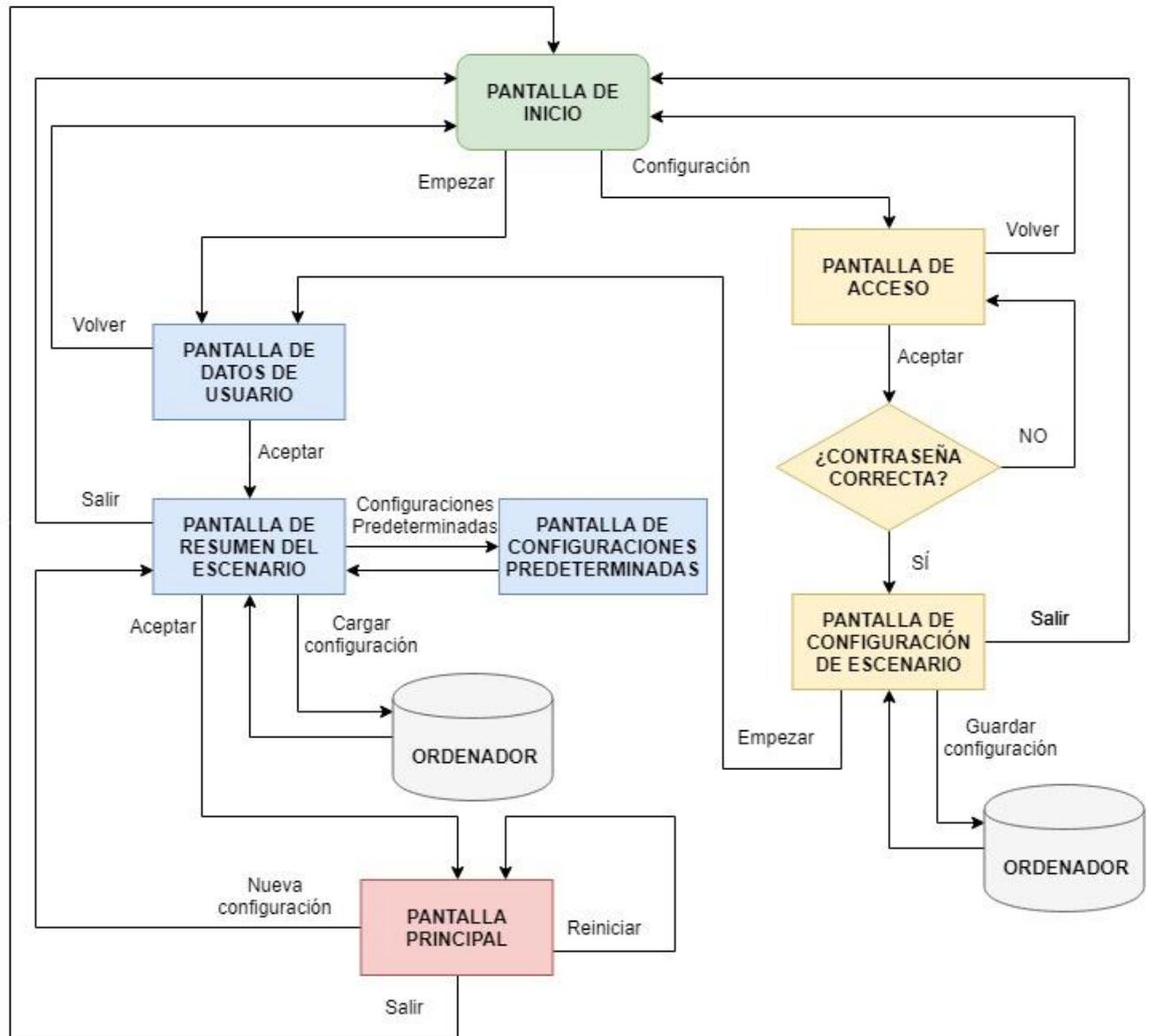


Figura 104. Diagrama de flujo del simulador.

## 6. VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Una fase importante de este trabajo trata de la **validación y verificación del modelo de simulación**. La **validación** reside en la **adecuación del modelo** con el **sistema real**, mientras que la **verificación** consiste en **comprobar** que el **simulador funciona como se espera**, y que no existen errores de programación que modifiquen su comportamiento.

Principalmente, se ha analizado la **correspondencia del modelo** de simulación con **dos aspectos importantes**. Por un lado, la **adecuación con el funcionamiento de una UCI**, y por otro, la **capacidad de generar los escenarios correctamente** conforme a la configuración que especifica el usuario.

### 6.1. ADECUACIÓN AL FUNCIONAMIENTO DE UNA UCI

Durante el desarrollo del simulador, ha existido una **comunicación bilateral** entre el personal médico de la UCI y la Universidad para que la **simulación se ajuste lo máximo posible al funcionamiento de una UCI**. Mediante el intercambio de ideas, se ha podido definir correctamente las variables de estado, los eventos y la ocurrencia de éstos.

De esta manera, se ha conseguido construir un simulador que cumpla con las características propuestas en el apartado 3.2.2:

- **Generación de llegadas de pacientes urgentes y procedentes de cirugías programadas:** El simulador es capaz de **generar las llegadas de ambos tipos de pacientes**, según los procesos de llegadas explicados en el apartado 4.2. Se comprueba que los pacientes **urgentes** pueden llegar en **cualquier momento del día**, mientras que los pacientes **programados**, sólo llegan **de lunes a viernes en la sesión clínica de mañana** (el fin de semana no hay cirugías), lo que se ajusta perfectamente a la realidad. Además, existe un **calendario** en el que se muestran las cirugías programadas de los siguientes días, así como las decisiones llevadas a cabo sobre las cirugías de los días previos.
- **Información clínica del paciente:** Como se ha mostrado en el apartado 5.2.1, el usuario es capaz de **consultar toda la información clínica del paciente ingresado**, pudiendo visualizar todos los parámetros disponibles de los diferentes campos. Las pantallas se **asemejan** bastante a las **utilizadas por los médicos de la UCI**, debido a que se ha intentado mantener el mismo diseño para facilitar al usuario un **entorno más amigable**.
- **Eventos de la simulación:** Los eventos implementados en el simulador permiten **actualizar el estado de los pacientes ingresados**, a la vez que dejar al usuario la posibilidad de tomar decisiones en los momentos decisivos de la simulación. Estas **decisiones** se basan en la **asignación del alta de**

los pacientes, o la posibilidad de ingresar o negar el ingreso a los pacientes que solicitan el servicio de la Unidad, tal y como actúan los médicos en una UCI real.

- **Escenarios:** Gracias a la implementación de los números aleatorios comunes, el simulador es capaz de generar **escenarios idénticos** para poder evaluar las decisiones de dos usuarios diferentes. A su vez, gracias a la pantalla de configuración que se ha establecido, existe la **posibilidad de variar dichos escenarios**.
- **Recogida de información:** Como se ha explicado en el apartado 4.6, tras la finalización de la simulación se **generan tres documentos** donde se recoge la **información necesaria** para poder **comparar las decisiones** tomadas por los diferentes usuarios.

## 6.2. GENERACIÓN CORRECTA DE ESCENARIOS

El otro aspecto que se debía verificar era la capacidad de **generar un escenario conforme a las especificaciones** de la pantalla de configuración:

- **Mix de pacientes:** En el mix de pacientes se definen los **porcentajes de cada tipo de pacientes** que van a llegar a la UCI. Por lo tanto, aquellos grupos con un porcentaje igual al 0% no participan en la simulación. En la Figura 105 y Figura 106 se muestra un ejemplo en el que los pacientes programados se configuran con un porcentaje del 0%, lo que implica que durante la simulación no existan cirugías programadas.



Figura 105. Configuración del mix de pacientes con ingresos programados del 0%.

PROGRAMACIÓN QUIRÚRGICA <span>Gestionar cirugías</span>						
LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
1	2	3	4	5	6	7
Programadas: 0 Suspendidas: 0	Programadas: 0 Suspendidas: 0	Programadas: 0 Suspendidas: 0	Programadas: 0 Suspendidas: 0	Programadas: 0 Suspendidas: 0	Programadas: 0 Suspendidas: 0	Programadas: 0 Suspendidas: 0
8	9	10				
Programadas: 0 Suspendidas: 0	Programadas: 0 Suspendidas: 0	Programadas: 0 Suspendidas: 0				

Figura 106. Panel con la programación quirúrgica en el que no hay cirugías.

- **Parámetros generales:** En cuanto a los parámetros generales, su **verificación** es **inmediata**, ya que la mayoría hacen referencia a aspectos bastante visuales como el número de camas de la UCI, el día de comienzo de la simulación, la duración de la simulación y los días del historial de llegadas. Con estos parámetros, **sólo había que comprobar que al modificar el día de comienzo no se alterase la programación quirúrgica**, es decir, que durante el fin de semana no hubiese cirugías y que cada viernes se realizase la programación de la semana siguiente. Con respecto al grado de ocupación de las camas, se comprueba que cuanto mayor valor se otorga, más llegadas se producen a la UCI, produciendo una mayor saturación. Por último, modificando la semilla, se obtiene una simulación en la que los pacientes ingresan en un orden y en unos momentos totalmente diferentes.
- **Tipos de alta:** Por un lado, las **sesiones clínicas** de mañana tarde y noche **respetan la configuración del escenario**, ya que la simulación se detiene en la hora señalada, si se ha seleccionado esa sesión (la sesión clínica de mañana siempre está seleccionada). Por otro lado, en cuanto a **los diferentes horarios** en los que se pueden asignar **altas**, se comprueba que **el programa sólo permite dar de alta a los pacientes ingresados en dichas horas**, diferenciando las dos situaciones explicadas en el apartado 4.5.3.

## 7. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha conseguido construir un **simulador válido**, que reúne todas las características para simular el **funcionamiento de una UCI real**. Además, permite controlar la variabilidad de los factores que no son clínicos (número de camas, grado de ocupación...), pudiendo de esta forma analizar otros que son más subjetivos e imposibles de controlar.

En la práctica clínica, la **variabilidad** es un factor determinante en la calidad que recibe un paciente. Las decisiones que toman los médicos sobre la **asignación de altas** tienen una **repercusión muy sensible en la salud de los pacientes**, ya que pasan a recibir una atención médica con un grado de monitorización distinto que puede afectar a la evolución del estado de salud.

En relación con las consecuencias de las decisiones de las altas médicas en la salud de los pacientes, existen diferentes **estudios** que señalan principalmente los posibles **efectos adversos** ocasionados por la asignación de un **alta prematura**. Sin embargo, **no existen estudios cuantitativos** que valoren el **nivel de disimilitud** en estas decisiones entre médicos y, mucho menos, que identifiquen sus causas y cuantifiquen su influencia en esta variabilidad. La dificultad estriba en **no disponer de información** sobre la toma de decisiones que permita realizar estos análisis.

La metodología propuesta en este trabajo no sólo permite por primera vez **recoger información relevante** sobre esta toma de decisiones para su análisis, sino que el simulador es capaz de presentar escenarios de una UCI que provocan variabilidad en las decisiones de los médicos. Estos escenarios van a facilitar la discusión médica acerca de los motivos de las discrepancias, otorgando la posibilidad de establecer consensos sobre las decisiones más efectivas para la salud de los pacientes. Además, gracias a esta herramienta se puede conseguir una **homogeneización de las decisiones**, con la consiguiente redacción de protocolos que desarrollen y complementen las recomendaciones establecidas por la Sociedad Europea de Cuidados Intensivos, y, con ello, reducir los riesgos que puede suponer para un paciente pasar a una planta de hospitalización.

Por otro lado, el simulador implementado va a permitir identificar qué tipo de pacientes podrían beneficiarse de la **implantación de Unidades de Cuidados Intermedios**, que además de reducir los costes de hospitalización, podrían ser la solución en las situaciones en la que se produce una alta ocupación de camas. En definitiva, reducir la variabilidad en el proceso de alta de UCI podría evitar altas precoces, las cuales implican un acortamiento en la estancia de los pacientes, y suspensiones innecesarias de cirugías programadas, que repercutirían en las listas de espera.

## 8. LÍNEAS FUTURAS

El desarrollo de este simulador no finaliza en este trabajo. Actualmente el simulador se encuentra en una **fase de ampliación**, incorporando las últimas recomendaciones del personal médico de la UCI, después de que hayan realizado la prueba piloto. Algunos usuarios sugieren modificar el diseño de alguna de las pantallas del simulador, de manera que los aspectos más importantes queden resaltados claramente.

En relación con **facilitar la interacción del usuario** con el simulador, faltaría por implementar en el programa un **menú de ayuda**, en el que se explique con detalle las acciones que debe realizar el usuario en cada caso. A su vez, queda pendiente por incorporar una pestaña que permita la posibilidad de **modificar el idioma** del simulador, sobre todo si se quiere dar a conocer fuera de España. Además, sería interesante incluir en el simulador la posibilidad de **guardar una ejecución** de la simulación antes de acabarla, pudiéndola retomar en otro momento sin necesidad que repetirla íntegramente.

Con respecto a la mejora del modelo de simulación, se está investigando acerca de los **procesos de llegada** de los pacientes a la UCI, así como la forma en la que se **inicializa el sistema**. La forma en la que está implementado actualmente podría mejorarse con un modelado más preciso (por ejemplo, en el caso de las llegadas, distinguiendo diferentes tasas en función del día de la semana).

Por otra parte, existe la posibilidad de configurar el simulador para generar **escenarios totalmente controlados** en cuanto a establecer situaciones conflictivas de manera manual. Modificando ligeramente la programación, se puede indicar el momento de llegada de pacientes que se quieran estudiar, recreando situaciones reales como accidentes de tráfico múltiples, que provoquen la llegada a la UCI de varios pacientes. Estos escenarios se crearían con la ayuda del personal médico de la UCI.

En estos momentos, el simulador se alimenta con los datos clínicos de una bolsa cerrada de pacientes, la cual es bastante costosa de ampliar en cuanto al tiempo requerido. Por lo tanto, el simulador está limitado en cuanto a la cantidad de pacientes diferentes que presenta. Para mejorar esta limitación, es necesario implementar una **técnica de recogida de datos automática**, que esté alimentada con bases de datos reales de las UCIs. Así, cada Unidad podría interactuar con el tipo de pacientes que han tratado. Además, una de las aplicaciones que esto tendría es poder implementar un simulador **monitorizando los datos de los pacientes de una UCI en tiempo real**, que permitiese poder tomar decisiones en momentos concretos y avanzar en el tiempo para poder analizar las consecuencias de esas decisiones.

Este simulador va a servir como **punto de partida en la realización de una tesis doctoral** sobre el modelado, simulación y análisis de la toma de decisiones de médicos, en la cual se van a estudiar todos estos aspectos planteados.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Barado Hualde, "Propuesta metodológica para la elaboración de modelos de simulación de la ocupación de las camas de una Unidad de Cuidados Intensivos", tesis doctoral, Univ. Púb. Navarra, 2015.
- [2] M. Cildo Esquíroz, "Desarrollo e implementación de un modelo de simulación para la mejora del Servicio de Urgencias", trabajo de fin de máster, Univ. Púb. Navarra, 2016.
- [3] M. S. Rauner, H. Niessner and M. M. Schaffhauser-Linzatti, "Resource planning for ambulance services in mass casualty incidents: a DES-based policy model," *Health Care Management Science*, vol. 15, no. 3, p. 254–269, 2012.
- [4] J. Kenworthy and A. Wong, "Developing managerial effectiveness: assessing and comparing the impact of development programmes using a management simulation or a management game," *Developments in Business Simulation and Experiential Learning*, vol. 32, pp. 164-175, 2014.
- [5] M. Loon, J. Evans and C. Kerridge, "Reprint: Learning with a strategic management simulation game: A case study," *The International Journal of Management Education*, vol. 13, no. 3, pp. 371-380, 2015.
- [6] Anderson D, Price C, Golden B, Jank G, Wasil E (2011) Examining the discharge practices of surgeons at a large medical center. *Health Care Manag Sci* 14:338–347
- [7] Dobson G, Lee H, Pinker E (2010) A model of ICU bumping. *Oper Res* 58:1564–1576
- [8] Shmueli A, Sprug CL, Kaplan E (2003) Optimizing admissions to an intensive care unit. *Health Care Manag Sci* 6:131–136
- [9] Capuzzo M, Moreno RP, Alvisi R (2010) Admission and discharge of critically ill patients. *Curr Opin Crit Care* 16:499–504
- [10] Kramer AA, Higgins TL, Zimmerman JE (2012) Intensive care unit readmissions in U.S. hospitals: patient characteristics, risk factors, and outcomes. *Crit Care Med* 40:3–10
- [11] Marmor YN, Rohleder TR, Cook DJ, Huschka TD, Thompson JE (2013) Recovery bed planning in cardiovascular surgery: a simulation case study. *Health Care Manag Sci*. doi:10.1007/s10729-013-9231-5
- [12] Robert R, Reignier J, Tournoux-Facon C et al (2012) Refusal of intensive care unit admission due to a full unit: impact on mortality. *Am J Respir Crit Care Med* 185:1081–1087
- [13] Sprung CL, Baras M, Iapichino G et al (2012) The Eldicus prospective, observational study of triage decision making in European intensive care units: part I—European intensive care admission triage scores. *Crit Care Med* 40:125–131
- [14] Lin F, Chaboyer W, Wallis M (2009) A literature review of organisational, individual and teamwork factors contributing to the ICU discharge process. *Aust Crit Care* 22:29–43

- [15] Costa AX, Ridley SA, Shahani AK, Harper PR, De Senna V, Nielsen MS (2003) Mathematical modelling and simulation for planning critical care capacity. *Anaesthesia* 58:320–327
- [16] Ridge JC, Jones SK, Nielsen MS, Shahani AK (1998) Capacity planning for intensive care units. *Eur J Oper Res* 105:346–355
- [17] Sinuff T, Kahn moui K, Cook DJ et al (2004) Rationing critical care beds: a systematic review. *Crit Care Med* 32:1588–1597
- [18] Walter KL, Siegler M, Hall JB (2008) How decisions are made to admit patients to medical intensive care units (MICUs): a survey of MICU directors at academic medical centers across the United States. *Crit Care Med* 36:414–420
- [19] Valentin A, Ferdinand e P. Recommendations on basic requirements for intensive care units: structural and organizational aspects. *Intensive Care Med.* 2011;37(10):1575-87.
- [20] Ferdinand e P. Recommendations on minimal requirements for Intensive Care Departments. Members of the Task Force of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med.* 1997;23(2):226-32.
- [21] Palanca I, Esteban de la Torre A, Elola J, Bernal JL, Paniagua JL. Plan de Calidad del Sistema Nacional de Salud. Unidades de Cuidados Intensivos. Estándares y Recomendaciones [Internet]. Madrid, España: Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad; 2011 [citado 19-08-2013]. Disponible en: <http://www.msssi.gob.es/organizacion/sns/planCalidadSNS/docs/UCI.pdf>
- [22] Barnato AE, Kahn JM, Rubenfeld GD, McCauley K, Fontaine D, Frassica JJ, et al. Prioritizing the organization and management of intensive care services in the United States: the PrOMIS Conference. *Crit Care Med.* 2007;35(4):1003-11.
- [23] Murthy S, Wunsch H. Clinical review: International comparisons in critical care - lessons learned. *Crit Care.* 2012;16(2):218.
- [24] Teres D. Civilian triage in the intensive care unit: the ritual of the last bed. *Crit Care Med.* 1993, 21:598-606.
- [25] Sociedad Española de Medicina Intensiva Crítica y Unidades Coronarias. Indicadores de calidad en el enfermo crítico [Internet]. 1a ed. Madrid; 2005. [consultado el 20 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.semicyuc.org/temas/calidad/indicadores-de-calidad>
- [26] Ouanes I, Schwebel C, Francais A, Bruel C, Philippart F, Vesin A, et al. A model to predict short-term death or readmission after intensive care unit discharge. *J Crit Care.* 2012, 27(4):422.e1-9.
- [27] Kramer AA, Higgins TL, Zimmerman JE. The association between ICU readmission rate and patient outcomes. *Crit Care Med.* 2013, 41(1):24-33.
- [28] Singer DE, Carr PL, Mulley AG, Thibault GE. Rationing intensive care - Physician responses to a resource shortage. *N Engl J Med.* 1983;309(19):1155-60.
- [29] Strauss MJ, LoGerfo JP, Yeltatzie JA, Temkin N, Hudson LD. Rationing of intensive care unit services. An everyday occurrence. *JAMA.* 1986;255(9):1143-6.

- [30] Campbell AJ, Cook JA, Adey G, Cuthbertson BH. Predicting death and readmission after intensive care discharge. *Br J Anaesth.* 2008;100(5):656-62.
- [31] Sinuff T, Kahnemoui K, Cook DJ, Luce JM, Levy MM. Rationing critical care beds: a systematic review. *Crit Care Med.* 2004;32(7):1588-97.
- [32] Robert R, Reignier J, Tournoux-Facon C, Boulain T, Lesieur O, Gissot V, et al. Refusal of intensive care unit admission due to a full unit: impact on mortality. *Am J Respir Crit Care Med.* 2012;185(10):1081-7.
- [33] Sprung CL, Danis M, Iapichino G, Artigas A, Kesecioglu J, Moreno R, et al. Triage of intensive care patients: identifying agreement and controversy. *Intensive Care Med.* 2013, 39(11):1916-24.
- [34] Sprung CL, Baras M, Iapichino G, Kesecioglu J, Lippert A, Hargreaves C, et al. The Eldicus prospective, observational study of triage decision making in European intensive care units: part I--European Intensive Care Admission Triage Scores. *Crit Care Med.* 2012, 40(1):125-31.
- [35] Ligtenberg JJ, Arnold LG, Stienstra Y, van der Werf TS, Meertens JH, Tulleken JE, et al. Quality of interhospital transport of critically ill patients: a prospective audit. *Crit Care.* 2005;9(4):R446-51.
- [36] Chalfin DB, Trzeciak S, Likourezos A, Baumann BM, Dellinger RP, group D-Es. Impact of delayed transfer of critically ill patients from the emergency department to the intensive care unit. *Crit Care Med.* 2007;35(6):1477-83.
- [37] Colmenero M. El ritual de la falta de camas. *Med Intensiva.* 2011;35(3):139-42.
- [38] Sobolev BG, Fradet G, Kuramoto L, Rogula B. The occurrence of adverse events in relation to time after registration for coronary artery bypass surgery: a population-based observational study. *J Cardiothorac Surg.* 2013;8:74.
- [39] Embriaco N, Papazian L, Kentish-Barnes N, Pochard F, Azoulay E. Burnout syndrome among critical care healthcare workers. *Curr Opin Crit Care.* 2007;13(5):482-8.
- [40] Verdon M, Merlani P, Perneger T, Ricou B. Burnout in a surgical ICU team. *Intensive Care Med.* 2008;34(1):152-6.
- [41] Halpern NA, Pastores SM, Oropello JM, Kvetan V. Critical care medicine in the United States: addressing the intensivist shortage and image of the specialty. *Crit Care Med.* 2013;41(12):2754-61.
- [42] Valentin A, Capuzzo M, Guidet B, Moreno R, Metnitz B, Bauer P, et al. Errors in administration of parenteral drugs in intensive care units: multinational prospective study. *BMJ.* 2009;338:b814.
- [43] S. Robert, «Introduction To the Art and Science of Simulation», Proc. 1998 Winter Simul. Conf., pp. 7-14, 1998.
- [44] Mallor F, Azcárate C Combining optimization with simulation to obtain credible models for intensive care units. *Ann Oper Res.* 2014, 221:255-271.



**Bibliografía consultada:**

- <https://aprenderaprogramar.com/>
- <https://docs.oracle.com/en/>
- <https://jorgesanchez.net/>

## 10. ANEXOS

### ANEXO A. CONJUNTO DE VARIABLES REQUERIDAS

#### ➤ DATOS INFORMATIVOS DEL PACIENTE

##### ▪ DATOS DEL PACIENTE

- Número de UCI codificado
- Número de Historia Clínica codificado
- Edad
- Sexo
- Peso del paciente al ingreso en UCI
- Número de días ingresado en UCI
- Hora de ingreso en UCI
- Hora de alta en UCI
- Diagnóstico principal unificado (ver Figura 107)
- Procedencia
- Tipo de alta (ver Figura 108)

DIAGNÓSTICO PRINCIPAL UNIFICADO	
1	Postoperatorio de cirugía cardiaca
2	Postoperatorio de neurocirugía
3	Postoperatorio de cirugía vascular
4	Postoperatorio de cirugía torácica
5	Postoperatorio de cirugía general
6	Otros postoperatorio
7	Insuficiencia respiratoria aguda
8	EPOC
9	Neumonía
10	Embolia pulmonar
11	SDRA
12	Insuficiencia cardiaca
13	IAM
14	Ictus cerebral
15	Otras alteraciones neurológicas
16	Insuficiencia renal
17	Pancreatitis aguda
18	Otras alteraciones digestivas
19	Politraumatismo
20	Intoxicación
21	Shock séptico
22	Shock hemorrágico
23	Parada cardiorespiratoria
24	Otros
99	Donación

Figura 107. Diagnóstico principal unificado.

TIPO DE ALTA
0 Alta prevista
1 Se suspende el alta por CRITERIOS CLÍNICOS
2 Se suspende el alta por FALTA DE CAMAS EN PLANTA
3 Se suspende el alta por OTROS CRITERIOS
6 Alta no prevista por que se dá TRAS LA VALORACIÓN POR SU MÉDICO A LA MAÑANA
7 Alta no prevista por ESCASEZ DE CAMAS
8 Exitus/Donación
9 Otras

Figura 108. Tipo de alta.

## ■ ANTECEDENTES PERSONALES

*Comorbilidades recogidas en el score APACHE II.*

- Enfermedades hepáticas (sí/no)
- Disnea o angina de reposo (clase IV de la New York Heart Association) (sí/no)
- Antecedentes respiratorios (sí/no)
- Diálisis renal crónica (sí/no)
- Inmunocomprometido (sí/no)

## ■ TIPO DE PACIENTE

- Pacientes urgentes (grupo U):
  - Postoperatorio de cirugía urgente (grupo C1)
  - Politraumatismo intervenido quirúrgicamente o sin intervención (grupo C2)
  - Paciente hospitalizado en servicios de carácter médico (grupo C3)
  - Paciente hospitalizado en servicios de carácter quirúrgico (grupo C4)
  - Paciente médico proveniente del Servicio de Urgencias o de Observación de Urgencias (grupo C5). De este grupo quedan excluidos los pacientes politraumatizados (pacientes del grupo C2) y los intervenidos de forma urgente desde el Servicio de Urgencias (algunos de los pacientes del grupo C1)
  - Paciente ingresado para donación de órganos y otros pacientes que no son recogidos en los grupos anteriores (grupo C6)
- Pacientes programados (grupo P):
  - Postoperatorio de cirugía programada con estancia estándar (grupo Q1)
  - Postoperatorio de cirugía programada con estancia prolongada o complicada (grupo Q2)

➤ **DATOS CLÍNICOS DEL PACIENTE**

▪ **PARÁMETROS NEUROLÓGICOS**

- Pupila derecha e izquierda:
  - Tamaño: 1 a 8 mm
  - Reactividad: arreactiva-perezosa-reactiva-indeterminada
- Nivel neurológico en la escala para el coma de Glasgow (apertura ocular-O; mejor respuesta motora-M; mejor respuesta verbal-V)
- Drenaje ventricular (ml)
- Escala RASS

▪ **PARÁMETROS HEMODINÁMICOS**

- Saturación de oxígeno (%)
- Temperatura central (°C)
- Ritmo cardiaco: ritmo sinusal, fibrilación auricular, flutter auricular, taquicardia supraventricular, taquicardia ventricular, bloqueo auriculo-ventricular de 1er, 2º y 3º grado, ritmo nodal, extrasístoles auriculares, extrasístoles ventriculares, marcapasos
- Frecuencia cardiaca (lpm)
- Presión Arterial sistólica, diastólica y media (mmHg)
- Dependencia de marcapasos (sí/no)
- Tipo, modalidad, frecuencia y estimulación de marcapasos.
- Gasto cardiaco
- Índice cardiaco
- Volumen sistólico

▪ **PARÁMETROS RESPIRATORIOS**

- Prueba en espontánea (I)
- Traqueotomía (sí/no)
- Cánula fonatoria (sí/no)
- Tapón sobre tráquea (sí/no)
- Ventilación mecánica invasiva (Controlada (VC/PC, BiPAP) o Asistida (PS/PAV/SmartCare))
- Ventilación mecánica no invasiva (sí/no)
- Mascarilla reservorio (sí/no)
- Mascarilla Venturi (sí/no)



- Gafas nasales (l)
- OAF aire (Oxigenoterapia de alto flujo, parámetro flujo de aire)
- OAF O2 (Oxigenoterapia de alto flujo, parámetro flujo de oxígeno)
- FiO2 (%)
- Caudal de oxígeno (l/min)
- Frecuencia respiratoria (rpm)
- **PARÁMETROS RENALES**
  - Técnicas continuas de reemplazo renal (sí/no)
  - Diálisis convencional
- **BALANCES**
  - Diuresis actual (ml)
  - Drenaje torácico
- **MEDICACIÓN**
  - Plasmalyte
  - Propofol 2%
  - Midazolam 50 mg
  - Remifentanilo / Ultiva
  - Cloruro mórfico
  - Fentanilo iv
  - Cisatracurio / Nimbex
  - Dexmedetomidina / Dexdor
  - Noradrenalina
  - Dobutamina
  - Dopamina
  - Levosimendan
  - Adrenalina
  - Urapidil / Elgatil
  - Nimodipino
  - Nitroglicerina
  - Latetalol / Trandate
  - Nitroprusiato



- Clevidipino
- Amiodarona
- Furosemida 250 mg
- Insulina rápida / Actrapid
- N. E. Agua
- N. E. Alteración mucosa gastrointestinal / GI Protein
- N. E. Cirugía
- N. E. Diabetes hiperprotéica
- N. E. Diabetes normoprotéica
- N. E. Estándar
- N. E. Estándar con fibra
- N. E. Estrés metabólico
- N. E. Estrés metabólica\_Perative
- N. E. Hipercalórica
- N. E. Hipercalórica con fibra
- N. E. Hipercalórica con fibra\_Jevity
- N. E. Hiperprotéica
- N. E. Hiperprotéica con fibra
- N. E. Ins. Hepática
- N. E. Ins. Renal
- N. E. Ins. respiratoria / Oxepa
- N. E. Oncología
- N. E. Peptídica
- N. E. Peptídica hipercalórica hiperprotéica
- N. E. Peptídica hiperprotéica con glutamina/ Alitraq
- N. P. Hepatopatía moderada 1800 MI
- N. P. Hipercalórica 2000 mL
- N. P. Hipercalórica 2500 mL
- N. P. Hipercalórica 3000 mL
- N. P. Hipercalórica hiperprotéica 2200 mL
- N. P. Hipercalórica hiperprotéica 2600 mL
- N. P. Hipercalórica hiperprotéica 3000 mL



- N. P. Hipocalórica 2000 mL
- N. P. Hipocalórica 2500 mL
- N. P. Hipocalórica 3000 mL
- N. P. Individualizada
- N. P. Isoplasmal
- N. P. Normocalórica 2000 mL
- N. P. Normocalórica 2500 mL
- N. P. Normocalórica 3000 mL
- N. P. Normocalórica con glutamina 2000 mL
- N. P. Normocalórica hiperprotéica 2000 mL
- N. P. Normocalórica hiperprotéica 2500 mL
- N. P. Normocalórica hiperprotéica 2500 mL
- N. P. Normocalórica hiperprotéica con glutamina 2000 mL
- N. P. Pancreatitis 2375 mL
- Albendazol vo
- Amikacina
- Amoxicilina/clavulánico
- Ampicilina
- Azitromicina
- Aztreonam
- Cefazolina
- Cefepima
- Cefotaxima
- Ceftazidima
- Ceftriaxona
- Ciprofloxacino iv
- Ciprofloxacino vo
- Claritromicina
- Clindamicina
- Cloxacilina
- Colistina iv
- Colistina nebul



- Cotrimoxazol / Soltrim
- Cotrimoxazol / Soltrim vo
- Daptomicina
- Doxiciclina
- Doxiciclina iv
- Doxiciclina vo
- Ertapenem
- Gentamicina
- Imipenem
- Isoniazida iv
- Isoniazida vo
- Levofloxacino iv
- Levofloxacino vo
- Linezolid iv
- Meropenem
- Metronidazol
- Moxifloxacino vo
- Penicilina sódica
- Piperacilina/tazobactam
- Rifampicina
- Teicoplanina
- Tigeciclina
- Tobramicina
- Vancomicina
- Vancomicina vo
- Amfotericina B complejo lipídico
- Amfotericina B liposomal
- Anidulafungina
- Caspofungina
- Fluconazol iv
- Fluconazol vo
- Micafungina



- Voriconazol iv
- Voriconazol vo
- Aciclovir iv
- Aciclovir vo
- Ganciclovir
- Oseltamivir jarabe
- Oseltamivir vo
- Ribavirina nebul
- Ribavirina vo

▪ **EVENTOS Y CUIDADOS**

- Traqueotomía percutánea
- RCP (reanimación cardiopulmonar)
- Desfibrilación
- Cardioversión eléctrica
- Cardioversión farmacológica
- Marcapasos transcutáneo temporal
- Pericardiocentesis
- Embolectomía pulmonar
- Filtro en cava
- Cateterismo coronario
- Traqueotomía convencional
- Tubo pleural
- Tubo pleural (UCI)
- Toracocentesis
- Broncoscopia
- BAL
- Plasmaféresis
- Hipotermia
- PtiO<sub>2</sub>
- PIC parenquimatoso
- Drenaje ventricular
- Punción lumbar



- Craniectomía descompresiva
- Técnicas endovasculares
- Fibrinolítico cerebro
- Intervención en paciente ingresado
- Reintervención
- Punción-drenaje abdominal
- Presión abdominal
- Técnicas endovasculares terapéuticas neurocirugía
- Técnicas endovasculares terapéuticas neurocirugía
- Gastroscopia
- Colonoscopia
- Esclerosis de varices
- Paracentesis
- Sonda de gastrostomía
- TIPS (transjugular intrahepatic portosystemic shunt)
- Sonda de Sengstaken-Blakemore
- Fibrinolíticos
- Inmunoglobulinas
- Autodecanulación
- Autoextubación
- Autoretirada del catéter venoso central
- Autoretirada drenaje
- Autoretirada vía arterial
- Autoretirada S.Vesical
- Autoretirada de la sonda nasogástrica
- Caída
- Error de medicación
- Obstrucción drenaje
- Obstrucción de la cánula de tráqueotomía
- Medidas de contención
- Sedestación
- Sedestación con grúa



## ▪ INFECCIONES

- Infección:
  - Localización de la infección
  - Fecha de inicio
  - Origen de la infección (comunitario, intra-UCI, extra-UCI, otro hospital)
  - Respuesta inflamatoria (no, sepsis, sepsis grave, shock séptico)
  - Nombre del germen
- Antibióticos:
  - Nombre del antibiótico
  - Fecha de inicio
  - Fecha final

## ▪ ANALÍTICAS

- Hemoglobina (g/dL)
- Hematocrito (%)
- Leucocitos ( $\times 10^9/L$ )
- Neutrófilos (%)
- Linfocitos (%)
- Monocitos (%)
- Eosinófilos (%)
- Basófilos (%)
- Cayados (%)
- Plaquetas ( $\times 10^9/L$ )
- Tiempo de protrombina (sec)
- Actividad de protrombina (%)
- I.N.R.
- A.P.T.T. (Sec)
- Glucosa,g (mg/dL)
- Urea,g (mg/dL)
- Creatinina,g (mg/dL)
- Fitrado glomerular (ml/min/1,73m<sup>2</sup>)
- Proteína, g (g/dL)

- Albúmina, g (g/dL)
- Bilirrubina, g (mg/dL)
- Aspartato transferasa, b (U/L)
- Alanina transferrasa, b(U/L)
- Gamma-Glutamiltransferasa (U/L)
- Fosfatasa alcalina, b (U/L)
- Lactato deshidrogenasa, g (U/L)
- Troponina I, g (pg/mL)
- Creatina cinasa, b (U/L)
- CK-mb
- Alfa-Amilasa (U/L)
- Lactato
- Sodio (mmol/L)
- Potasio (mmol/L)
- Cloruro (mmol/L)
- Calcio (II) (mg/dL)
- Procalcitonina (ng/mL)
- Proteína C reactiva (mg/dL)

#### ▪ GASOMETRÍA

- Hora
- pH
- pCO<sub>2</sub> (mmHg)
- pO<sub>2</sub> (mmHG)
- Lactato (mmol/L)
- Saturación (%)
- HCO<sub>3</sub> (mmol/L)
- Exceso de bases (mmol/L)

#### ▪ INFORMES

- Enfermería:
  - Informe
  - Scores NEMS y TISS28.
- Médico



- Historia clínica de ingreso y evolutivo
- **PARÁMETROS NO CUANTIFICABLES**
- Tipo de aislamiento:
  - Ninguno
  - Preventivo (contacto)
  - Gotas
  - Aérea
  - Gotas y contacto
  - Aéreo y contacto
  - Protector

## ANEXO B. MÉTODO DE LA TRANSFORMADA INVERSA

Sea  $X$  una variable aleatoria con función de distribución  $F_X(x)$ , se define la **función inversa** de la función de distribución como:

$$F_X^{-1}(y) = \inf\{x / F_X(x) \geq y\} \quad (26)$$

**Teorema.** - Si  $U$  es una variable aleatoria con una distribución uniforme en el intervalo  $[0,1]$ , entonces  $X = F_X^{-1}(U)$  es una variable aleatoria con función de distribución  $F_X(x)$ .

**Demostración:**

$$P(X \leq x) = P(F_X^{-1}(U) \leq x) = P(U \leq F_X(x)) = F_X(x) \quad (27)$$

De forma general, el **método de la transformada inversa** consiste en:

1. **Generar  $U \sim \text{UNIF}(0,1)$**
2. **Establecer  $u = F_X(x)$  y calcular  $x = F_X^{-1}(u)$**

Una variable aleatoria  $X$  tiene una **distribución de probabilidad exponencial** si su función de densidad es:

$$f_X(x) = \begin{cases} \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot x} & \text{si } x \geq 0 \\ 0 & \text{si } x < 0 \end{cases} \quad (28)$$

con  $\lambda =$  promedio de eventos por unidad de tiempo.

Su **función de distribución** es:

$$F_X(x) = P\{X \leq x\} = 1 - e^{-\lambda \cdot x} \quad (29)$$

Al aplicar el método de la transformada inversa sobre la distribución exponencial se dan los siguientes pasos:

1. Generar un valor  $u$  según una distribución uniforme en el intervalo  $(0,1)$ .  
 $U \sim \text{UNIF}(0,1)$
2. Resolver la ecuación

$$u = F_X(x) = 1 - e^{-\lambda \cdot x} \quad (30)$$

$$e^{-\lambda \cdot x} = 1 - u \quad (31)$$

$$-\lambda \cdot x = \ln(1 - u) \quad (32)$$

$$x = -\frac{1}{\lambda} \cdot \ln(1 - u) \quad (33)$$

$$x = -\frac{1}{\lambda} \cdot \ln(u) \quad (34)$$



Ya que, si  $u$  es una variable aleatoria con distribución uniforme,  $(1-u)$  también lo es. Entonces se realiza ese cambio para evitar hacer más operaciones.



## ANEXO C. INFORME CLÍNICO DE ALTA DE UN PACIENTE



### INFORME CLÍNICO DE ALTA

Tipo de atención: Paciente Quirúrgico Programado.

**MOTIVO DE INGRESO:** RECAMBIO VALVULAR AÓRTICO.

Procedencia: QUIR.CENTRAL. CIRUGÍA CARDÍACA

**ALERGIAS:** SIN INFORMACIÓN SOBRE ALERGIAS

#### ANTECEDENTES

Diagnosticado previamente de:

- Hepatopatía crónica enólica con hipertensión portal estadio Child-Pugh A MELD 8 .Varices esofágicas grado III/IV con manchas rojas y gastropatía moderada de hipertensión portal. Profilaxis primaria de sangrado con colocación de bandas por contraindicación de betabloqueantes. Primer episodio de descompensación ascítica. Última gastroscopia sin varices
- HTA
- Hipercolesterolemia
- Encefalopatía hepática grado I
- Diarrea secundaria a infección por Giardia Lamblia
- Pólipo de colon. Polipectomía endoscópica
- Diverticulosis de colon
- Varices colo-rectales.
- Angiodisplasias de colon
- Puente mucoso u orificio fistuloso perianal
- Insuficiencia valvular aórtica crónica degenerativa moderada-severa, estable sin insuficiencia cardiaca y dilatación de VI.ETT impresión diagnóstica: Cardiopatía valvular degenerativa:
  - Doble lesión aórtica con estenosis moderada e insuficiencia moderada-severa.
  - VI ligeramente dilatado con función sistólica conservada.

- Sin datos indirectos de HAP. Función de VD normal
  - Trastorno de adaptación
  - Síndrome depresivo
  - Hipertrofia benigna de próstata
  - Polipectomía de 3 pequeños pólipos sesiles. Leiomioma en el recto (2 mm) y dos adenomas tubulares. Electrocoagulación con argón de 2 pequeñas lesiones angiodisplásicas. Diverticulosis izquierda.
- Intervenido quirúrgicamente de:
- Hernia discal L5-S1 derecha. Gastro-colonoscopia
- Transfusión sanguínea previa sin complicaciones.

### **HISTORIA CARDIOLÓGICA PREVIA**

FRC: HTA e HLP en ttº, fumador de 4-5 puros/día, resto negativo. diagnosticado previamente de cardiopatía valvular insuficiencia aórtica severa con dilatación de VI (DTD: 71 y DTS: 48) y FE conservada (FE: 58%) desde dic'97, asintomático desde el punto de vista cardiológico y en revisiones periódicas, estable.

### **HISTORIA ACTUAL**

Varón de 73 años que ingresa en UCI procedente de quirófano central tras recambio valvular aórtico.

Valorado por Cardiología por disnea de moderados esfuerzos de 3 meses de evolución. En **Eco TT**: Cardiopatía valvular: Doble lesión aórtica degenerativa con estenosis severa e insuficiencia moderada-severa. Dilatación de aorta ascendente. Calcificación del anillo mitral sin repercusión significativa. FEVI normal. PSAP no estimada por ausencia de IT.VD normal

**Prueba de esfuerzo:** Prueba de esfuerzo submáxima detenida por cansancio y disnea. 12', 7 METS 90% 134x. Clínicamente sin dolor torácico, pero con disnea desde el minuto 8'07" del esfuerzo (112lpm y 140/70mmHg). ECG positiva por descenso del ST en cara inferior y V3-V6 de hasta 2.5mm desde el minuto 11'21" a cargas medias (133lpm y 140/70mmHg) que se normaliza en el minuto 2' de la recuperación. Respuesta cronotropa apropiada. Respuesta tensional con ascenso lento. No arritmias. Capacidad funcional ligeramente limitada.

Se realiza **cateterismo programado** que muestra válvula Ao calcificada con insuficiencia moderada y coronarias sin lesiones

Antecedentes de:

-Hepatopatía crónica enólica con hipertensión portal estadio Child-Pugh A MELD 8. Varices esofágicas grado III/IV con manchas rojas y gastropatía moderada de hipertensión portal. Profilaxis primaria de sangrado con colocación de bandas por contraindicación de betabloqueantes, en oct.09, nov.09, dic.09 marzo.10. y febrero del 2011Primer episodio de descompensación ascítica en Septiembre del 2009.Última revisión por Digestivo 8 eoc abdominal y gastroscopia) para valoración de

trombopenia por cirugía cardíaca pendiente: Gastroscoopia ( febrero 2016 ): Gastritis crónica con metaplasia entérica. Digestivo concluye que el paciente presenta datos clínico-analítico-radiológicos de cirrosis hepática con hipertensión portal (esplenomegalia, hiperesplenismo, dilatación venosa) y aneurisma de vena porta derecha.

Analítica prequirúrgica: Hg 12,7, plaquetas 53000, TP 69%, creatinina 1,33. Finalmente se programa hoy cirugía cardíaca para recambio valvular aórtico. Se transfunde 1 pool de plaquetas 1 hora antes de la cirugía.

## **INTERVENCIÓN QUIRÚRGICA**

Tiempo clampaje aórtico: 86 min Tiempo CEC: 141 min  
Se realiza recambio valvular aórtico: prótesis biológica MOSAIC CINCH nº 27  
Electrodos epicárdicos temporales en VD y AD;  
Drenajes mediastínicos: Izquierdo en mediastino anterior. Derecho en pericardio diafragmático  
Acto anestésico --> Inducción e IOT sin incidencias y con estabilidad hemodinámica. Solo destaca bradicardia a 40 lpm a su llegada con TAM mantenida  
Se canula VYID con catéter PreSep guiado con ecografía  
Mantenimiento hasta la entrada en CEC marcado por la tendencia a la HTA de difícil control.  
Salida de CEC sin incidencias hemodinámicas sin precisar soporte inotrópico tras poner MCP bicameral. Tendencia a la HTA que se controla con perfusión de NTG a dosis de 0.5-0.7 microgramos/kg/min  
Se constata plaquetopenia ya conocida, aumento del tiempo de coagulación y déficit de fibrinógeno. Hemostasia dificultosa. Se transfunden en total 2 pool de plaquetas, 900 ml PFC y 500 ml de sangre obtenida con el recuperador y 1 CH  
Balance hídrico: -1500 ml.

## **TRATAMIENTOS PREVIOS**

*-Pantoprazol 20 mg (0-0-1) Omnic Ocas 0.4 mg (0-0-1), Zolpidem 10 mg (0-0-1), , Candesartan 32 mg (1-0-0), Lorazepam 1 mg (0-0-1), Trazodona 100 (0-0-1), Escitalopran 10 mg(1-0-0),.*

## **EXPLORACIÓN FÍSICA**

Constantes:

Presión arterial: 76/54 mm Hg. Frecuencia cardíaca: 80 x'. Frecuencia respiratoria: 18 resp/min. SatO<sub>2</sub>: 100 %. FiO<sub>2</sub>: 100 %. Capnografía: 32 mm Hg. Peso: 100 Kg. Talla: 169 cm. SvO<sub>2</sub> (central): 66 %. Drenajes: 80 ml. Diuresis: 100 ml/h. Lactato: 14 mg/dl. Gap CO<sub>2</sub>: 7 mm Hg.

Medidas de soporte: Con sedo-analgésia, ventilación mecánica y drogas vasoactivas.



Buen estado general. Buen estado de hidratación. Bien perfundido llenado capilar menor de 2 sg. Palidez de piel y mucosas.

Exploración física:

Paciente sedonalagesiado con propofol+ remifentanilo. RASS -4. Pupilas mióticas y normorreactivas. Con perfusión de nitroglicerina por HTA de difícil control que se retira al llegar por hipotensión arterial

AP con hipoventilación en bases. AC: rítmica, sin soplos audibles

Abdomen globuloso, depresible. No ausculto peristalsis. Drenajes mediastínicos permeables, débito de 50 cc.

EEl sin presencia de edemas. Pulsos pedios presentes y simétricos..

## EXPLORACIONES COMPLEMENTARIAS

- GASOMETRÍA ARTERIAL PH: 7.41. PaO<sub>2</sub>: 332 mm Hg. PaCO<sub>2</sub>: 40 mm Hg. CO<sub>3</sub>H: 26 mmol/L. ABE: 0,8 mmol/L. sO<sub>2</sub>: 100 %. Condiciones: Oxígeno: ventilación mecánica. FiO<sub>2</sub>: 1.

- ANALÍTICA: HEMATOLOGIA. HEMOGLOBINA: 10,50 g/dL (13 - 17,5). HEMATOCRITO: 30,40 % (38 - 50). LEUCOCITOS: 5,10 x10<sup>9</sup>/L. %Neutrófilos: 82,90 % (40 - 80). PLAQUETAS: 48,00 x10<sup>9</sup>/L (150 - 400). Tiempo de protrombina: 18,00 seg (9 - 14). Actividad de protrombina: 54,00 % (70 - 130). I.N.R.: 1,52 (0,8 - 1,2). A.P.T.T.: 36,30 seg.. Índice de A.P.T.T.: 1,22 (0,8 - 1,2).

- BIOQUIMICA. Srm-Glucosa, g: 142,00 mg/dL (70 - 99). Srm-Urea, g: 52,00 mg/dL (10 - 50). Filt.Glomerular estimado-MDRD4: 51,00 mL/min/1.73m<sup>2</sup> (0 - 0)// VALORES REFERENCIA : [ >60 ]. Srm-Creatina cinasa, b: 387,00 U/L (30 - 200). Srm-Creatina cinasa 2 (masa),g: 37,10 ng/mL (0 - 7,2). Srm-Troponina I, g: 5451,40 pg/mL (1,9 - 34,2). Srm-Ion Sodio, c: 137,00 mmol/L. Srm-Ion Potasio, c: 5,20 mmol/L (3,5 - 5,1). Srm-Cloruro, c: 107,00 mmol/L.

- RX DE TÓRAX: Ligero velamiento bibasal.

- E.C.G: Bradicardia sinusal , retraso de conducción intraventricular, alteraciones inespecíficas del ST.

## EVOLUCIÓN

Inicialmente precisó nitroglicerina por HTA. Balance de quirófano -1500 ml. Hemodinámica estable sin inotrópicos. Diuresis de 4300 ml. Balance negativo de 3 litros. Drenaje de 480 ml. Posteriormente otros 390 ml. Rx tórax con buena aireación bilateral.

Sedoanalgesiado con propofol y remifentanilo. Analítica: cpk: 387 - 936 - 2685 troponina: 5.400 - 11.700 - 3669. INR: 1,39 urea:62 creatinina:1,22 . Plaquetas: 50.000. Balances equilibrados

ECG: Ritmo sinusal. PR normal. Aplanamiento de la onda T en precordiales. Buena auscultación cardiopulmonar. Abdomen globuloso.



Retiramos sedoanalgesia. Hace una buena prueba en espontánea y se extuba al día siguiente. Buena gasometría arterial y mecánica respiratoria correcta. SatvO2:70,4. Se le ha restaurado su medicación habitual salvo el antihipertensivo. Consciente, orientado y colaborador. Rx tórax con buena aireación bilateral. Hemodinámica estable. Buena función renal. Retiramos paracetamol por su problema hepático y dejamos la M1. Suspendemos la Vitamina K y de momento no ponemos el adiro que le correspondería, por su trombopenia. Buena gasometría arterial y mecánica respiratoria correcta.

### JUICIO CLÍNICO

Postoperatorio de cirugía cardiaca:

-Recambio valvular aórtico.

-Doble lesión aórtica degenerativa con estenosis severa e insuficiencia moderada-severa. Dilatación de aorta ascendente

Calcificación del anillo mitral sin repercusión significativa. FEVI normal. PSAP no estimada por ausencia de IT.VD normal

- Cirrosis hepática con hipertensión portal (esplenomegalia, hiperesplenismo, dilatación venosa) y aneurisma de vena porta derecha.