

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN**



GRADO EN INGENIERÍA BIOMÉDICA

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR
WEB INTERACTIVO PARA EL ENTRENAMIENTO
EN EL MANEJO DEL TRAUMA GRAVE**

CARMEN SÁNCHEZ VALLEJO

2021

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN**



GRADO EN INGENIERÍA BIOMÉDICA

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR
WEB INTERACTIVO PARA EL ENTRENAMIENTO
EN EL MANEJO DEL TRAUMA GRAVE**

Autora:

CARMEN SÁNCHEZ VALLEJO

Tutores:

BLANCA LARRAGA GARCÍA

LUIS CASTAÑEDA LÓPEZ

2021

Resumen

Los traumatismos, especialmente los graves, constituyen un importante problema de salud en la sociedad. Esto es debido a su alta tasa de mortalidad y a la gran cantidad de discapacidades que pueden ocasionar en un paciente durante el resto de su vida. Requieren de una atención especializada que implique una gran coordinación y eficiencia en la atención al paciente, para que los daños producidos no sean irreversibles o incluso mortales. Por ello cuando ocurre un accidente, atender de manera rápida y eficiente a estos pacientes es clave.

Teniendo en cuenta la necesidad de aunar la seguridad en la práctica clínica y la correcta actuación ante un traumatismo grave surge, este Trabajo Fin de Grado. Su objetivo fundamental es diseñar e implementar un simulador web interactivo que permita generar diferentes escenarios de trauma para el entrenamiento de los clínicos ante este tipo de lesiones. De esta manera, el simulador va a permitir que los clínicos adquieran destrezas ante el tratamiento de estas lesiones y que los errores no tengan consecuencias fatídicas en el paciente.

Para alcanzar el objetivo propuesto se van a diseñar distintos casos clínicos que van a simular lesiones que pueden ocurrir tanto en entornos hospitalarios como prehospitalarios. Durante el desarrollo de la simulación, las acciones y tratamientos que lleven a cabo los clínicos van a tener consecuencias en las constantes vitales de un paciente virtual, y determinarán su correcta estabilización o por el contrario el fallecimiento del mismo.

Adicionalmente, se validará el simulador con personal clínico de diferentes hospitales. Así, se podrá evaluar el aprendizaje adquirido ante el tratamiento de un paciente con lesión traumática antes y después de utilizar el simulador desarrollado. Finalmente, se hará un análisis de los datos almacenados en la base de datos de la aplicación que permitirá analizar en detalle las acciones llevadas a cabo, cuándo, en qué orden y el impacto de las mismas.

Palabras clave: Simulador, traumatismos, seguridad, entrenamiento, validación, aprendizaje, análisis.

Abstract

Trauma injuries, especially the severe ones, are a major health problem in society. This is due to their high mortality rate and the large amount of disabilities they can leave in the patient for the rest of his or her life. These traumatic injuries require specialized care that involves great coordination and efficiency in the care of the patient, so that the damage produced is not irreversible or even fatal. Therefore, when an accident occurs, fast and efficient care for these patients is key.

Taking into account the need to combine safety in clinical practice and proper performance when treating a patient that suffers a serious trauma, this Final Degree Project emerges. Its fundamental objective is to design and implement a web-based interactive simulator that allows generating different trauma scenarios to train clinicians in the treatment of this type of injuries. Therefore, the simulator will allow clinicians to acquire skills in the treatment of these lesions and to avoid errors that could have fatal consequences on the patient.

To achieve the proposed objective, different clinical scenarios will be designed simulating lesions that can occur in both hospital and pre-hospital settings. During the development of the simulation, the actions and treatments carried out by clinicians will have consequences on the vital constants of a virtual patient, and will determine its correct stabilization or, conversely, the death of the patient.

In addition, the simulator will be validated with clinicians from different hospitals. Therefore, it will be possible to assess the learning acquired from the treatment of a patient with trauma before and after using the simulator developed. Finally, there will be an analysis of the data stored in the database of the application that will allow to analyzed in detail the actions carried out, when, in what order were done and the impact they had on the patient.

Keywords: Simulator, trauma injuries, safety, training, validation, learning, analysis.

Agradecimientos

Me gustaría expresar mi gratitud a mis tutores de este Trabajo Fin de Grado: Blanca Larraga García y Luis Castañeda López. Gracias por haberme dado la oportunidad de realizar este proyecto y prestarme ayuda siempre que lo he necesitado. Gracias Blanca, por tu implicación en este trabajo desde el principio y gracias Luis por haberme transmitido tus conocimientos tan fascinantes sobre el ámbito de la programación.

Gracias a mis amigos, por apoyarme en los peores momentos, animarme en los mejores y estar siempre presentes cuando lo he necesitado.

Y por último, gracias a mi familia por ser fundamentales en mi vida. En especial a mi madre, gracias por apoyarme en todo momento y conseguir que haya llegado hasta aquí.

Índice general

Resumen	V
Abstract	VII
Agradecimientos	IX
Índice General	XI
Índice de Figuras	XV
Índice de Tablas	XVII
Lista de Acrónimos	XIX
1. Introducción	1
1.1. Simulación Clínica	1
1.1.1. Historia de la simulación clínica	2
1.1.2. Características de la simulación Clínica	4
1.1.3. Modelos de simuladores clínicos	4
1.2. Motivación y Objetivos	6
1.3. Planificación del proyecto	7
2. Enfermedad Traumática Grave	8
2.1. Epidemiología	8
2.2. Clasificación de los Traumatismos	10
2.2.1. Traumatismo Craneoencefálico	10
2.2.2. Traumatismo Abdominal	12
2.2.3. Traumatismo Pélvico	12
2.2.4. Traumatismo Torácico	13
2.2.5. Traumatismo En Extremidades	14
2.3. Tratamiento de los Traumatismos	14
2.3.1. Revisión Primaria	15
2.3.1.1. A: Vía aérea con control de la columna cervical	15
2.3.1.2. B: Ventilación	16
2.3.1.3. C: Circulación y control de sangrado	16
2.3.1.4. D: Valoración neurológica	17
2.3.1.5. E: Exposición	17
2.3.2. Revisión Secundaria	17

2.4.	Protocolos de Actuación	17
2.4.1.	Protocolo de Actuación en Traumatismo Craneoencefálico	18
2.4.2.	Protocolo de Actuación en Traumatismo Abdominal	18
2.4.3.	Protocolo de Actuación en Traumatismo Torácico	19
2.4.4.	Protocolo de Actuación en Traumatismo Pélvico	20
2.4.5.	Protocolo de Actuación en Traumatismo en Extremidades	20
3.	Simulador Web Interactivo	21
3.1.	Descripción general del simulador clínico	21
3.2.	Tecnologías utilizadas en el desarrollo del proyecto	25
3.2.1.	JavaScript	25
3.2.2.	HTML	25
3.2.3.	CSS	26
3.2.4.	React	26
3.2.5.	MySQL	26
3.2.6.	SQL	27
3.2.7.	Python	27
3.2.7.1.	Pandas	28
3.2.7.2.	Matplotlib	28
3.3.	Desarrollo software	28
3.3.1.	Desarrollo de componentes adicionales	28
3.3.2.	Desarrollo del modelo relacional de la base de datos	29
4.	Diseño de Escenarios de Trauma	31
4.1.	Diseño de los casos clínicos	31
4.1.1.	Caso clínico 1	32
4.1.2.	Caso clínico 2	32
4.1.3.	Caso clínico 3	33
4.1.4.	Caso clínico 4	33
4.2.	Implementación de los casos clínicos	34
4.2.1.	Impacto de las acciones en las constantes vitales	38
5.	Validación Clínica y Resultados	40
5.1.	Validación Clínica	40
5.2.	Resultados de Validación Clínica	41
5.3.	Resultados de Usabilidad	47
6.	Conclusiones y Líneas Futuras	49
6.1.	Conclusiones	49
6.2.	Líneas futuras	50
	Referencias	51
A.	Aspectos éticos, económicos, sociales y ambientales	56
A.1.	Aspecto Ético	56
A.2.	Aspecto Económico	56
A.3.	Aspecto Social	57

A.4. Aspecto Ambiental	57
B. Presupuesto económico	58
C. Análisis de Datos	60
D. Anamnesis de los casos clínicos	65
E. Acciones	67
F. Radiografías	68
G. Manual de usuario	70
H. Cuestionario de usabilidad	77

Índice de figuras

1.1. Primeros simuladores clínicos. (a) Resusci Anne (b) SimeOne	3
2.1. Defunciones Según Causa de Muerte (por 100 000 hab) España, Año 2018,	9
2.2. Mortalidad por Causas Externas. España, Año 2018, INE.	10
2.3. Tipos de respuesta y su puntuación en la GCS.	11
2.4. Clasificación Tile/AO de las fracturas de pelvis. (a) Tipo A (b) Tipo B (c) Tipo C	13
2.5. Tipos de lesiones en el traumatismo en extremidades. (a) Luxación (b) Esguince (c) Fractura	14
2.6. Abordaje ABCDE	15
3.1. Maniquí virtual con ventilación mediante bolsa autoinflable.	22
3.2. Monitor de constantes vitales.	22
3.3. Batería de acciones de la interfaz hospitalaria donde se ha seleccionado la categoría de circulación/hemorragias externas	23
3.4. Bateria de acciones de la interfaz hospitalaria donde se ha seleccionado la categoría de fármacos y fluidoterapia.	23
3.5. Interfaz principal del simulador en entorno prehospitalario.	24
3.6. Modelo relacional de la base de datos del simulador clínico.	30
5.1. Tiempo de respuesta en Auscultación. (a) Examen 1, Prehospitalario (b) Examen 2, Prehospitalario (c) Examen 1, Hospitalario (b) Examen 2, Hospitalario	43
5.2. Tiempo de respuesta en Monitorización 4 parches. (a) Examen 1, Prehospitalario (b) Examen 2, Prehospitalario (c) Examen 1, Hospitalario (b) Examen 2, Hospitalario	44
5.3. Tiempo de respuesta en Pulsioxímetro. (a) Examen 1, Prehospitalario (b) Examen 2, Prehospitalario (c) Examen 1, Hospitalario (b) Examen 2, Hospitalario	45
5.4. Tiempo de respuesta en Canalización VVP. (a) Examen 1, Prehospitalario (b) Examen 2, Prehospitalario (c) Examen 1, Hospitalario (b) Examen 2, Hospitalario	46
5.5. Tiempo de respuesta en Pani Digital. (a) Examen 1, Prehospitalario (b) Examen 2, Prehospitalario (c) Examen 1, Hospitalario (b) Examen 2, Hospitalario	47

C.1. Simulaciones con acción de auscultación	61
C.2. Simulaciones con acción de monitorización 4 parches.	61
C.3. Simulaciones con acción de pulsioxímetro.	62
C.4. Simulaciones con acción de cánula orofaríngea.	63
C.5. Simulaciones con acción de SG 5% de mantenimiento.	63
C.6. Simulaciones con acciones de cinturón pélvico, collarín cervical, Ácido Tranexámico 1g IV y Rx Pelvis	64
F.1. Radiografía Pélvica del caso clínico 1	68
F.2. Radiografía Pélvica del caso clínico 2	68
F.3. Radiografía Pélvica del caso clínico 3	69
F.4. Radiografía Pélvica del caso clínico 4.	69
G.1. Registro en la aplicación.	71
G.2. Registro como estudiante.	71
G.3. Inicio de sesión de la aplicación.	72
G.4. Módulos de entrenamiento y examen.	72
G.5. Listado de simulaciones del módulo de entrenamiento.	73
G.6. Entrada para realizar una simulación del módulo de entrenamiento. . .	73
G.7. Mensaje con la información del paciente.	74
G.8. Inicio de la simulación.	74
G.9. Tiempo restante de la simulación, avanzar 5 minutos y finalizar	75
G.10. Menu de pruebas diagnósticas.	75
G.11. Opción de interconsultas a otras especialidades dentro de la categoría de pruebas complementarias.	76
G.12. Botones de volver a entrar y descargar informe.	76
H.1. Respuesta 1 del cuestionario de usabilidad.	77
H.2. Respuesta 2 del cuestionario de usabilidad.	77
H.3. Respuesta 3 del cuestionario de usabilidad.	78
H.4. Respuesta 4 del cuestionario de usabilidad.	78
H.5. Respuesta 5 del cuestionario de usabilidad.	78
H.6. Respuesta 6 del cuestionario de usabilidad.	79
H.7. Respuesta 7 del cuestionario de usabilidad.	79
H.8. Respuesta 8 del cuestionario de usabilidad.	79
H.9. Respuesta 9 del cuestionario de usabilidad.	80
H.10. Respuesta 10 del cuestionario de usabilidad.	80
H.11. Respuesta 11 del cuestionario de usabilidad.	80

Índice de tablas

2.1. Órganos intra-abdominales lesionados con mayor frecuencia.	12
2.2. Clasificación de las lesiones torácicas según su gravedad.	14
4.1. Evolución natural del caso clínico 1	32
4.2. Evolución natural del caso clínico 2	32
4.3. Evolución natural del caso clínico 3	33
4.4. Evolución natural del caso clínico 4	33
4.5. Acciones implementadas en la categoría de Anamnesis.	35
4.6. Acciones implementadas en la categoría de vía aérea y ventilación . .	36
4.7. Acciones implementadas en la categoría de Circulación/Hemorragias Externas	36
4.8. Acciones implementadas en la categoría de Exposición/Otros	37
4.9. Acciones implementadas en la categoría de fármacos y fluidoterapia . .	37
4.10. Acciones implementadas en la categoría de pruebas complementarias .	38
4.11. Acciones implementadas en la categoría de inmovilización	38
4.12. Acciones con impacto en las constantes vitales del paciente virtual . . .	39
B.1. Costes de personal.	58
B.2. Costes de recursos materiales.	59
B.3. Costes totales.	59
D.1. Anamnesis del caso clínico 1	65
D.2. Anamnesis del caso clínico 2	65
D.3. Anamnesis del caso clínico 3	66
D.4. Anamnesis del caso clínico 4	66
E.1. Acciones implementadas y el mensaje que se muestra en el simulador .	67

Lista de Acrónimos

- HULP:** Hospital Universitario La Paz.
- CASE:** Comprehensive Anesthesia Simulation Environment.
- SER:** Simulación a Escala Real
- INE:** Instituto Nacional de Estadística
- GCS:** Escala de Coma de Glasgow.
- UCI:** Unidad de Cuidados Intensivos.
- AO:** Asociación de Osteosíntesis
- ACOD:** Anticoagulantes Orales de Acción Directa
- IOT:** Intubación OroTraqueal.
- HTML:** HyperText Markup Language
- CERN:** Organización Europea para la Investigación Nuclear
- CSS:** Cascading Style Sheets
- DOM:** Document Object Model.
- SQL:** Structured Query Language
- IA:** Inteligencia Artificial
- PK:** Primary Key
- FK:** Foreign Key
- VVP:** Vía Venosa Periférica
- ECG:** ElectroCardiograma
- SSF:** Suero Salino Fisiológico
- SG:** Suero Glucosado

Capítulo 1

Introducción

Este Trabajo Fin de Titulación ha sido realizado en colaboración con el Hospital Universitario La Paz (HULP), concretamente con el servicio de Simulación Clínica. El objetivo de este trabajo es desarrollar e implementar un simulador clínico interactivo que permita generar diferentes escenarios de trauma para el entrenamiento de los clínicos en el manejo de la enfermedad traumática grave.

La simulación se ha ido introduciendo, progresivamente, en todos los ámbitos de la medicina hasta convertirse en una herramienta muy útil para la formación y el entrenamiento de los clínicos. Por ello, el simulador sobre el que versa este Trabajo Fin de Grado va a permitir formar al personal clínico en la atención a pacientes con traumatismos graves.

1.1. Simulación Clínica

Durante el desarrollo de todo evento clínico real, pueden surgir actuaciones que constituyen una fuente de error y que pueden derivar en un riesgo para la vida del paciente. Con el fin de reducir la cantidad de muertes ocasionadas por errores clínicos, surge la enseñanza basada en la simulación y el entrenamiento en el manejo de situaciones de crisis [1]. Actualmente se cuenta con la tecnología precisa para que los profesionales médicos en fase de formación puedan enfrentarse a situaciones reales en escenarios simulados donde no se pueda poner en riesgo la vida del paciente [2].

La simulación clínica como herramienta de aprendizaje en los ámbitos de la medicina ha sido un tema con un fuerte impacto durante los últimos años [3]. Está concebida como un novedoso método de aprendizaje basado en recrear lo más fielmente posible situaciones patológicas del paciente en distintos escenarios. La enseñanza que proporciona la simulación es completamente activa puesto que son los profesionales médicos los que actúan y toman las decisiones correspondientes para llevar a cabo el desarrollo de la simulación. Además, las actuaciones no se llevan a cabo sobre pacientes reales sino sobre la automatización de maniqués, proporcionando una enseñanza indudablemente segura. Según estudios recogidos en [4], los conocimientos adquiridos durante la simulación se aplican en la práctica clínica diaria, lo que lleva a mejoras directas en los resultados clínicos. Por ello, los sistemas nacionales de salud

están incorporando la simulación no solo como una herramienta didáctica sino como herramienta que forme y evalúe de forma continuada a los profesionales médicos [5].

1.1.1. Historia de la simulación clínica

La simulación clínica presenta un enorme grado de desarrollo y diversidad. Analizando los factores principales que han promovido la expansión y el desarrollo de la simulación, será posible sugerir tres etapas de evolución [6]. La influencia de estos factores, expuestos a continuación, es determinante para poder caracterizar de forma precisa las etapas temporales de la simulación.

En primer lugar, el desarrollo de la bioética fue un factor importante. Esta circunstancia aparece tras la declaración de Helsinki en 1964 mediante la cual se establece la protección de los individuos como sujetos de experimentación. En segundo lugar, el desarrollo de la educación médica ha sido otro factor fundamental. Este desarrollo ha llevado a que la formación de los profesionales sea cada vez más exigente para que la atención prestada al paciente sea de mayor calidad. En tercer y último lugar, el desarrollo tecnológico en computación, electrónica, nuevos materiales, la háptica y la realidad virtual son otros factores claves que han fomentado la simulación como herramienta de aprendizaje y la han hecho evolucionar de manera significativa [6].

Con respecto a las etapas de desarrollo de la simulación, es posible distinguir tres periodos temporales que se presentan a continuación:

- **Los precursores**

Este periodo abarca los simuladores desarrollados desde 1929 hasta la década de los años sesenta, y se caracteriza principalmente por la utilización de los simuladores de vuelo. No obstante, también se implantaron simuladores en otros ámbitos como el de la medicina y el ámbito militar [7].

Tuvo especial relevancia Edwin A. Link, quien desarrolló, en 1929, el primer simulador de vuelo para el entrenamiento de los pilotos de guerra conocido como Blue Box o Link Trainer. Con este novedoso sistema se mejoraba el aprendizaje ante situaciones aéreas [8].

- **Los pioneros**

Este periodo se extiende desde los años sesenta hasta finales de los años ochenta, contando con Laerdal, Abrahamson, Gravenstein y Gaba, quienes crearon simuladores complejos que replicaban propiedades anatómicas y eventos fisiológicos, descritos con detalle a continuación [9].

En los años sesenta, Asmund Laerdal, un empresario noruego, dedicado a la creación de juguetes de plástico desarrolló junto con un grupo de médicos anestesiólogos un modelo de reanimación cardiopulmonar al que llamó Resusci Anne (ver Figura 2.1 (a)). Este modelo resultó ser un simulador de bajo costo

muy efectivo para desarrollar habilidades y destrezas psicomotoras. Gracias a este modelo, los médicos pudieron comprender y practicar la reanimación cardiopulmonar [10].

En 1969, surgió para el campo de la anestesia el simulador SimOne, desarrollado por Abrahamson (ver Figura 1.1 (b)) en la Universidad de Southern California. Este simulador presentaba características inigualables hasta el momento como ruidos respiratorios, cardiacos, y pulsos carotideo y temporal sincronizados. Además las respuestas fisiológicas tras la realización de las maniobras se obtenían en tiempo real mediante programas computacionales.[11]

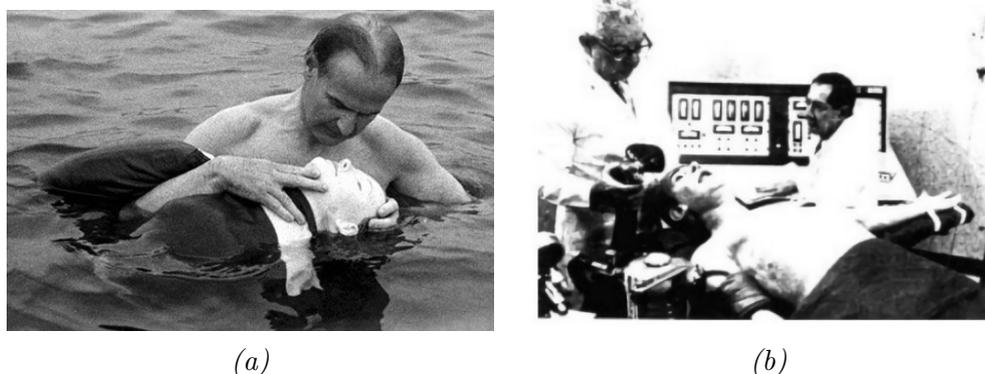


Figura 1.1: Primeros simuladores clínicos. (a) Resusci Anne (b) SimeOne [12]

Posteriormente, en 1988, David Gaba & Anda desarrollaron el primer simulador a escala real en las Universidades de Florida y Stanford, cuya finalidad residía en poner en práctica tanto las habilidades técnicas como las no técnicas en el área de la medicina. Este prototipo se denominó Comprehensive Anesthesia Simulation Environment (CASE) y fue capaz de mejorar la seguridad del paciente en un escenario que recreaba lo más fielmente posible el entorno de trabajo [8].

- **La consolidación**

Su desarrollo ha tenido lugar durante las dos últimas décadas, donde la simulación clínica comienza a aceptarse como un complemento e incluso a veces, como un sustituto que aporta grandes beneficios en la formación de profesionales médicos. Durante este periodo de tiempo, se han desarrollado maniqués que se asemejan más a pacientes reales y a un coste mucho menor, así como simuladores capaces de emular tareas concretas en cirugía y procedimientos diagnósticos [13].

También adquiere especial interés la investigación sobre el papel de la simulación clínica en el desarrollo de las competencias y habilidades médicas, reflejándose en la gran cantidad de artículos científicos publicados durante los últimos diez años [6].

1.1.2. Características de la simulación Clínica

El triunfo de toda simulación clínica está basado en la combinación de tres elementos fundamentales que hacen de ella el método idóneo para facilitar a los estudiantes la adquisición de habilidades y destrezas clínicas sin poner en riesgo la vida del paciente. El primer elemento es la existencia de una elevada **fidelidad física** mediante la cual, se puedan desarrollar destrezas manuales proporcionando sensación táctil para el movimiento, vibración o fuerzas dinámicas. También adquiere relevancia la presencia de una alta **fidelidad conceptual** donde se ponen en práctica la capacidad para resolver problemas y el razonamiento de cuestiones clínicas. Además, la conexión de los conceptos teóricos con su significado es vital para que el proceso de aprendizaje sea eficaz. Y por último una alta **fidelidad emocional o vivencial** en la que, mediante el entrenamiento de situaciones complejas que impliquen la aplicación de conocimientos o emociones, se favorece la retención de información [10, 14].

Paralelamente, el entrenamiento basado en simulación implica tres fases fundamentales: el prebriefing, el escenario de simulación y el debriefing [15]. Los dos últimos son los más estudiados en la literatura.

- **Prebriefing:** Esta fase se basa en conseguir un ambiente estimulante y participativo donde exista un gran nivel de compromiso por parte de los usuarios [16]. Para ello, se les proporciona una explicación detallada del entorno de la simulación y se les deja un tiempo para que conozcan e inspeccionen dicho entorno. Asimismo, es necesario crear un ambiente donde los participantes se sientan seguros y puedan aprender de los errores sin miedo a ser juzgados.
- **Escenario de simulación:** En esta fase se pone en marcha el desarrollo de la simulación. Se aplican los protocolos de actuación correspondientes a los distintos escenarios clínicos permitiendo a los usuarios entrenar nuevas habilidades y competencias.
- **Debriefing:** Este procedimiento se realiza posterior al evento de la simulación y es definido como el tiempo dedicado a la autoevaluación o reflexión sobre las acciones llevadas a cabo durante la situación simulada. Durante esta realimentación, se identifican los errores cometidos tanto en habilidades técnicas como cognitivas. De esta manera el alumno debe analizar sus actuaciones promoviendo un aprendizaje activo en el que asuma las consecuencias de las decisiones tomadas para que entienda cómo han contribuido sus actos en el resultado final de la simulación [17].

1.1.3. Modelos de simuladores clínicos

El modelo de simulación que se utiliza determina en gran medida el conocimiento adquirido por el personal clínico, de manera que cuanto más realista sea la simulación mayor serán las habilidades aprendidas y mejor será la retención del conocimiento [18]. De esta manera, se establece que uno de los principales componentes que determina si la simulación es adecuada, es la herramienta que se utiliza para recrear los escenarios

emulados. Por ello, podemos clasificar los distintos tipos de simuladores clínicos en 5 categorías [19]:

- **Simuladores por partes o part-task trainers:** Utilizan una parte concreta del cuerpo necesaria para llevar a cabo una técnica determinada, permitiendo el desarrollo de capacidades psicomotoras.
- **Simuladores de modelos anatómicos completos:** Son maniquís completos o prácticamente completos de tamaño real, similar al de una persona. Simulan aspectos anatómicos y fisiológicos que son controlados a distancia desde una sala contigua. Esto hace que sea posible la modificación in situ de los parámetros del maniquí tales como el ritmo cardíaco o la respiración. Además, estos simuladores permiten manejar situaciones complejas y mejorar habilidades tanto técnicas como de comunicación y trabajo en equipo.
- **Juegos de rol o pacientes estandarizados:** La simulación se desarrolla sobre personas entrenadas para actuar como pacientes. Estos simuladores forman a los clínicos en la recogida de la información clínica, la realización de un examen físico y técnicas de comunicación con los pacientes.
- **Simuladores de pantalla:** Son programas informáticos que permiten entrenar y evaluar conocimientos, mejorando la capacidad de tomar decisiones y el razonamiento clínico, sobre todo a nivel fisiológico [20]. Permiten que varios estudiantes a la vez puedan trabajar en un mismo caso promoviendo el trabajo en equipo al poder debatir en conjunto las soluciones más apropiadas. Además, puesto que pueden acceder varios estudiantes al mismo tiempo, permiten una formación masiva y por lo tanto llegar a un mayor número de usuarios.
- **Simuladores de realidad virtual:** Se trata de una simulación interactiva tridimensional, por ordenador, en la que el usuario se siente inmerso en un entorno artificial que percibe como real debido al estímulo de órganos sensoriales [21]. Se suelen combinar con los simuladores part task trainers permitiendo la interacción física con el ambiente virtual y el desarrollo de habilidades manuales. Son ampliamente utilizados en cirugía laparoscópica y procedimientos endoscópicos.

En el contexto de la simulación, la fidelidad es definida como el grado de realismo en que una simulación reproduce la realidad. Por lo tanto el grado de fidelidad está directamente relacionado con el modelo de simulador que se emplea, de esta forma se puede hacer otra clasificación de los simuladores en baja, media y alta fidelidad [22].

- **Simuladores de baja fidelidad:** Son modelos de un segmento anatómico donde se practican actuaciones y procedimientos tanto invasivos como no invasivos. Son simuladores de fácil adquisición puesto que son relativamente baratos y fáciles de utilizar. No muestran ningún parámetro fisiológico puesto que no tienen complejidad tecnológica.

- **Simuladores de fidelidad intermedia:** Combinan una parte anatómica con programas computacionales permitiendo adquirir destrezas en una competencia determinada. Dan la posibilidad de entrenar técnicas más complejas que en el caso de los simuladores de baja fidelidad. Así pues, precisan de mayor interacción entre el profesional y el simulador, aportando un mayor realismo tanto visual como táctil.
- **Simuladores de alta fidelidad:** Es conocida también como simulación de alto realismo o simulación a escala real (SER). Son simuladores que presentan una multitud de variables fisiológicas, utilizan software y hardware avanzado con maniquís de tamaño real para entrenar competencias técnicas avanzadas.

1.2. Motivación y Objetivos

El objetivo de este Proyecto Fin de Grado versa en el diseño e implementación de un simulador clínico virtual que permita generar diferentes escenarios de trauma para ayudar a los profesionales clínicos en su formación y manejo frente a la enfermedad traumática grave.

El diseño del simulador está basado en la automatización de un paciente virtual donde se incorporarán módulos de respiración, circulación, inmovilización o fluidoterapia, los cuales tendrán un impacto real en las constantes vitales del paciente, proporcionando un entorno realista en el que el clínico pueda adquirir destrezas en los protocolos de actuación. Además, se generarán datos en tiempo real que ayudarán a analizar el desarrollo de la simulación.

Posteriormente se validará el simulador con personal clínico de diferentes hospitales, la mayoría pertenecientes al Hospital Universitario La Paz. Para ello, los participantes entrenarán con el simulador y se realizará un estudio exhaustivo y detallado sobre el aprendizaje que los profesionales médicos adquieren tras la utilización de esta herramienta.

Para lograr el objetivo principal del proyecto, se han definido los siguientes objetivos secundarios:

- Diseñar una interfaz de usuario donde los clínicos en formación y el personal docente puedan entrenar situaciones de trauma en entornos tanto prehospitalarios y como hospitalarios.
- Implementar acciones diferenciadas en cada uno de los entornos anteriores: prehospitalario y hospitalario. Cada una de estas acciones tendrá un impacto en las constantes vitales del paciente de manera que la actuación de los profesionales se verá reflejada en el maniquí virtual consiguiendo su correcta estabilización o no.
- Diseñar un módulo de entrenamiento y otro de examen. En el módulo de entrenamiento los profesionales clínicos podrán practicar y entrenar los

protocolos de actuación en cada tipo de traumatismo tantas veces como crean conveniente. Una vez finalizados estos entrenamientos, se podrá acceder al módulo de examen el cual permitirá evaluar la simulación llevada a cabo.

- Dotar de realismo al paciente virtual, para ello cuando se realicen las distintas acciones, estas quedarán directamente reflejadas en el paciente. De esta manera se consigue emular lo más fielmente posible las actuaciones clínicas reales.
- Modificar la estructura de la base de datos con el fin de implementar nuevos módulos y escenarios. Esto permitirá realizar un seguimiento y evaluación de las simulaciones llevadas a cabo de una manera mucho más eficiente, teniendo la información almacenada a tiempo real.
- Validar el simulador clínico, mediante la realización de pruebas llevadas a cabo por personal clínico de distintos hospitales.

1.3. Planificación del proyecto

Para poder cumplir los objetivos de la sección anterior, el presente documento se ha organizado en 6 secciones:

- El **Capítulo 1** pondrá en contexto la necesidad de la simulación clínica. Además se detallará la motivación que ha llevado a realizar el proyecto y los objetivos que se pretenden conseguir en el mismo.
- El **Capítulo 2** comienza explicando la enfermedad traumática grave, haciendo un análisis de los diferentes tipos de traumatismos y los protocolos de actuación que deben seguirse para el tratamiento de cada uno de ellos.
- El **Capítulo 3** explicará el funcionamiento del simulador clínico y el desarrollo software que se ha llevado a cabo para poder implementar los escenarios de trauma. Adicionalmente, se presentarán las herramientas que se han utilizado para la realización del proyecto.
- El **Capítulo 4** se centrará en detallar el diseño y la implementación de los escenarios de trauma, necesarios para poder emular casos clínicos reales de pacientes con traumatismos.
- El **Capítulo 5** presentará el proceso de validación clínica que ha seguido la herramienta desarrollada. Adicionalmente, incluirá los resultados de la validación clínica del simulador. Para ello, primero se hará una fase de procesamiento de los datos, a continuación se tratarán dichos datos y finalmente se analizarán los parámetros obtenidos para determinar la eficacia de esta herramienta. También se presentan los resultados del cuestionario de usabilidad.
- Por último, en el **Capítulo 6** se exponen las conclusiones extraídas de este Trabajo Fin de Grado y se plantean una serie de líneas futuras que pretenden contribuir a la mejora del presente simulador clínico para abordar la enfermedad traumática grave de una manera más segura y eficaz.

Capítulo 2

Enfermedad Traumática Grave

En este Capítulo se presenta la enfermedad traumática grave así como los distintos tipos de traumatismos y los protocolos de actuación que se emplean para hacer frente a estas lesiones. Esto servirá de base para poder diseñar en posteriores capítulos, los distintos escenarios de trauma para que los profesionales médicos entrenen sus habilidades y competencias ante el manejo de esta enfermedad.

2.1. Epidemiología

La enfermedad traumática grave es aquella en la que el paciente presenta varias lesiones traumáticas que ponen en riesgo su vida y que pueden ocasionar distintas discapacidades o lesiones severas [23]. Se considera una enfermedad porque es causada por un agente etiológico, es decir, la causa que la ocasiona es una brusca energía que puede ser de diferentes tipos, por ejemplo mecánica o térmica como ocurre en los accidentes de tráfico. Esta gran cantidad de energía recibida por el cuerpo, induce una serie de signos y síntomas para cada tipo de traumatismo puesto que se sobrepasan los límites de tolerancia humana produciendo alteraciones anatómicas como contusiones, hemorragias o laceraciones [24].

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece el trauma grave como la tercera causa de muerte global tras las enfermedades cardiovasculares y el cáncer [25]. Si se analiza solamente a los menores de 45 años, se considera que el trauma es la primera causa de mortalidad para este grupo, siendo los accidentes de tráfico los principales responsables de este suceso [26].

El trauma grave pertenece a la categoría de las defunciones debidas a causas externas [27]. Entre estas causas externas destacan los accidentes de tráfico, los suicidios, las caídas accidentales o el ahogamiento, entre otras. En el año 2018, el Instituto Nacional de Estadística (INE), registró, en España, 15.768 fallecimientos por estas causas, de las cuales, 9.893, eran hombres y 5.875, mujeres. Si se analizan las tasas brutas de defunciones por cada 100.000 habitantes debido a estas causas externas, se estimaron 43,2 en el caso de los hombres y 27,4 en el caso de las mujeres, tal y como se puede ver en la Figura 2.1.

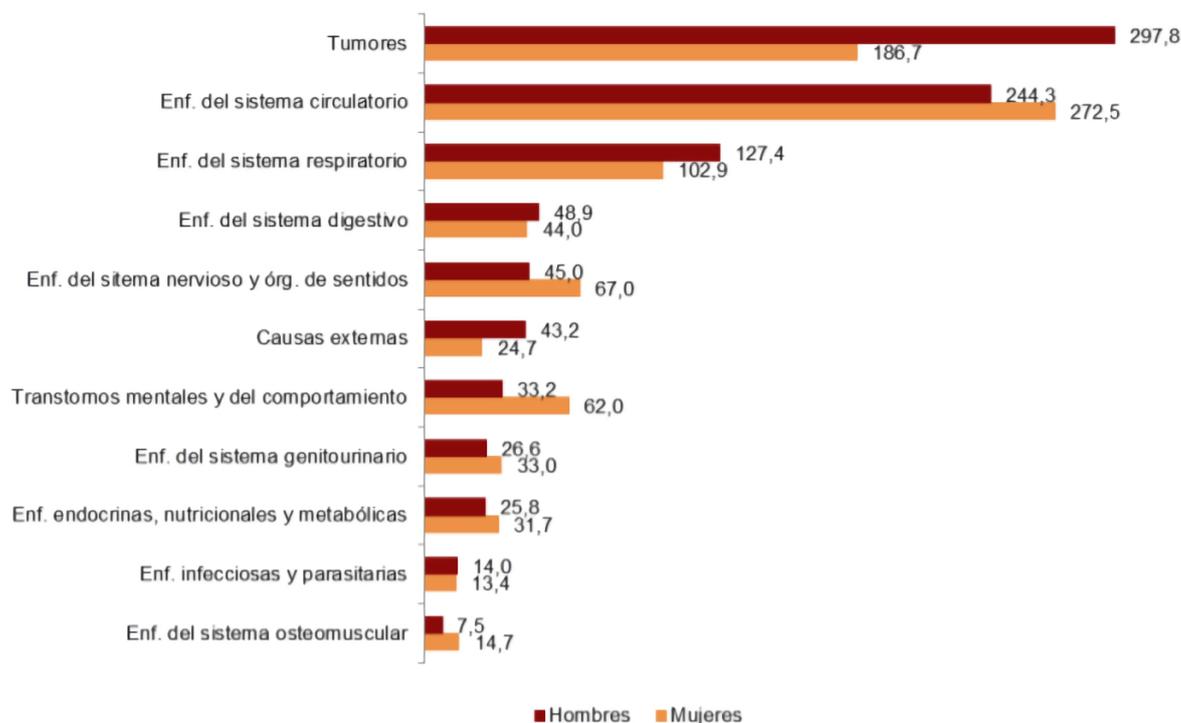


Figura 2.1: Defunciones Según Causa de Muerte (por 100 000 hab) España, Año 2018,

[28]

Las tasas de mortalidad varían en función de la causa externa y del género, según se puede ver en la Figura 2.2. En el año 2018, para los hombres, la causa externa que provocó una mayor incidencia, fue el ahorcamiento o estrangulamiento, mientras que para las mujeres, la causa con mayor incidencia fueron las caídas debidas a precipitaciones desde lugares elevados [29]. Otras diferencias de mortalidad entre sexos son el envenenamiento por fármacos, más utilizado por las mujeres, y las armas de fuego, con mayor incidencia en los hombres.

Los traumatismos que presentan mayor incidencia son los de tipo craneoencefálico, representando entre el 33% y el 47% del total. A continuación, el trauma torácico representa entre el 18% y el 35%; el trauma en extremidades, entre el 15% y el 26% y, finalmente en menor medida, el trauma abdominal que representa entre un 8% y un 17% del total [30]. El traumatismo de tipo craneoencefálico presenta la tasa de mortalidad más elevada en comparación con otros tipos de trauma y suele dejar importantes secuelas en el paciente.

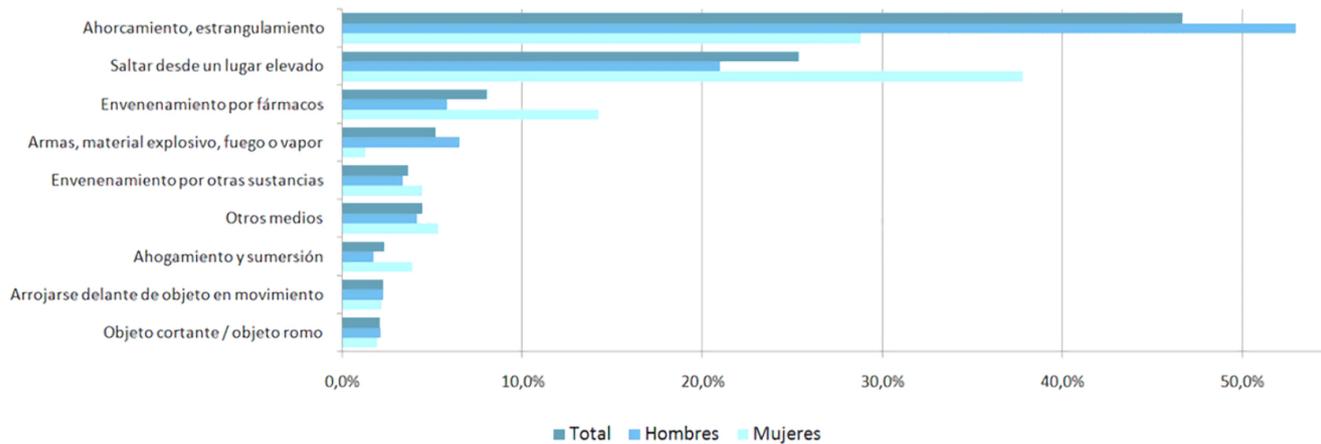


Figura 2.2: Mortalidad por Causas Externas. España, Año 2018, INE.
[29]

2.2. Clasificación de los Traumatismos

Un traumatismo se define como una lesión de los órganos o tejidos del organismo provocada por agentes externos. Los traumatismos implican un daño físico que puede ser leve o que por el contrario, puede poner en riesgo la vida del paciente [31]. A continuación se presentan los distintos tipos de traumatismos que pueden darse en un paciente traumatizado o politraumatizado:

2.2.1. Traumatismo Craneoencefálico

Se define como la afectación física o funcional de las estructuras craneoencefálicas por una fuerza externa. Son la principal causa de mortalidad en los pacientes politraumatizados y representan el 20% del total de las muertes de pacientes en edades productivas [32]. Se puede hacer una clasificación de este tipo de traumatismo según diversos factores:

- **Según la integridad del cráneo**
 - **Cerrado:** Aquel en el que no existe lesión en el cráneo. La mayor parte de los traumatismos son cerrados.
 - **Abiertos:** Suele estar producido por un arma de fuego u objeto penetrante. Presenta mayor mortalidad que el anterior ya que existe una lesión en el cráneo y penetra hasta el cerebro.
- **Según la Escala de Coma de Glasgow**

La Escala de Coma de Glasgow (GCS) es una exploración neurológica que permite medir el nivel de conciencia de un paciente y constituye una de los parámetros más importantes a tener en cuenta para evaluar el nivel de gravedad de este tipo de traumatismos [33]. Se basa en evaluar la respuesta ocular, la respuesta verbal y la respuesta motora. Cada una de estas respuestas se desglosa

en distintas opciones que llevan asociadas puntuaciones diferentes como se puede ver en la Figura 2.3. Posteriormente se sumarán las puntuaciones de cada una de estas respuestas obteniéndose una puntuación entre 3 y 15 puntos, siendo 3 el valor más grave y 15 el menos grave. En función del nivel de gravedad, los traumatismos craneales se pueden clasificar de la siguiente manera [34]:

- **Traumatismo craneal leve:** Se obtiene cuando la puntuación obtenida se encuentra entre 13 y 15. En estos casos existe una pérdida pequeña de la conciencia cuya duración es inferior a 30 minutos. Los síntomas más comunes son dolor de cabeza, confusión y amnesia.
- **Traumatismo craneal moderado:** Se dice que el trauma es moderado cuando se obtiene una puntuación entre 9 y 13. En este caso los pacientes se encuentran desorientados y precisan de hospitalización. Los síntomas principales de este tipo de trauma son mareo, cefalea, fatiga.
- **Traumatismo craneal grave:** Se dice que un traumatismo craneal es grave cuando se obtiene una puntuación entre 3 y 8 puntos. En este caso los pacientes presentan incapacidad para realizar lo que se les indica por lo que son ingresados en el Unidad de Cuidados Intensivos (UCI). Tienen un mal pronóstico y la mayor parte de las personas que lo presentan no sobreviven durante más de un año [34].

Escala de coma de Glasgow.

Variable	Respuesta	Puntaje
Apertura ocular	• Espontánea	4
	• A la orden	3
	• Ante estímulo doloroso	2
	• Ausencia apertura ocular	1
Respuesta verbal	• Orientado correctamente	5
	• Paciente confuso	4
	• Lenguaje inapropiado	3
	• Lenguaje incomprensible	2
	• Carencia de actividad verbal	1
Respuesta motora	• Obedece órdenes correctamente	6
	• Localiza estímulos dolorosos	5
	• Evita estímulos dolorosos	4
	• Respuesta con flexión anormal de los miembros	3
	• Respuesta con extensión anormal de los miembros	2
• Ausencia de respuesta motora	1	

Figura 2.3: Tipos de respuesta y su puntuación en la GCS.

2.2.2. Traumatismo Abdominal

Un traumatismo abdominal es aquel que presenta lesiones en la cavidad abdominal que implican daños de diferente magnitud en la pared del abdomen, en las estructuras viscerales o en ambas [35]. El abdomen es la parte anatómica del cuerpo que contiene mayor número de órganos, de los cuales el bazo y el hígado son los que presentan una mayor incidencia en ser dañados, tal y como se puede ver en la Tabla 2.1. Las lesiones deben ser tratadas con rapidez y eficacia ya que, por el contrario, pueden acarrear la muerte del paciente. Este tipo de traumatismo se clasifica en:

- **Traumatismo abdominal penetrante:** Son aquellos traumatismos ocasionados por un arma blanca, un arma de fuego o una explosión. Perforan la piel produciendo lesiones de alta o baja energía afectando principalmente al intestino delgado y al colón.
- **Traumatismo abdominal cerrado:** La causa principal que origina este tipo de traumatismo son los accidentes de tráfico y los atropellos, aunque también pueden ser causados por accidentes laborales, domésticos o deportivos.

Órgano Abdominal	Incidencia
Bazo	25 %
Hígado	20 %
Riñón	15 %
Colon	12 %
Intestino Delgado	10 %
Diafragma	5 %

Tabla 2.1: Órganos intra-abdominales lesionados con mayor frecuencia.
[36]

2.2.3. Traumatismo Pélvico

La pelvis es considerada un anillo óseo que conecta el cuerpo con las extremidades inferiores. Este anillo óseo está formado por los siguientes huesos: el sacro, el ilion, el isquion y el pubis. Este tipo de traumatismo, también conocido como fractura de pelvis, tiene lugar cuando alguno de estos huesos sufre una rotura. Estas pueden ser poco significativas o por el contrario, dar lugar a hemorragias masivas, siendo la pérdida de sangre la causa principal de muerte del traumatismo pélvico [37].

Según la clasificación de Tile/AO (Asociación de Osteosíntesis) que evalúa la estabilidad e inestabilidad de las fracturas de pelvis, se pueden clasificar de la siguiente manera [38]:

- **Tipo A:** Las fracturas de tipo A son aquellas en las que el anillo pélvico posterior no está dañado tal y como puede verse en la Figura 2.4 (a). Son *fracturas estables*

y pueden ser tratadas mediante procedimientos ortopédicos.

- **Tipo B:** Son lesiones en las que el anillo pélvico posterior está parcialmente dañado tal y como puede verse en la Figura 2.4 (b) por lo tanto, son *fracturas parcialmente inestables*. Estas fracturas presentan diversos grados de inestabilidad rotacional aunque son estables verticalmente, en muchas de ellas se requiere intervención quirúrgica [38].
- **Tipo C:** En este tipo de fracturas el anillo pélvico posterior se encuentra completamente comprometido, tal y como se puede ver en la Figura 2.4 (c) por lo que son *fracturas inestables* y presentan tanto inestabilidad rotacional como vertical.

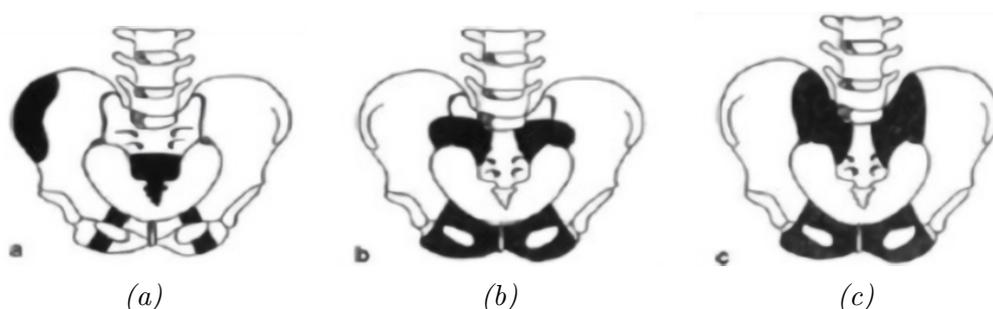


Figura 2.4: Clasificación Tile/AO de las fracturas de pelvis. (a) Tipo A (b) Tipo B (c) Tipo C

[39]

2.2.4. Traumatismo Torácico

Son traumatismos que se producen por impactos en la caja torácica afectando a los pulmones, las costillas, el esternón, el mediastino, los grandes vasos del interior del tórax y el corazón. En función de la gravedad de las lesiones producidas, se pueden clasificar en los siguientes tipos tal y como puede verse en la Figura 2.2 [40]:

- **Lesiones con compromiso vital:** Constituyen un alto riesgo de muerte para el paciente, por lo que deben ser tratadas de inmediato.
- **Lesiones potencialmente letales:** Necesitan un diagnóstico y un tratamiento preciso y rápido ya que pueden afectar a la supervivencia del paciente a las pocas horas de producirse la lesión.
- **Lesiones graves:** Son aquellas en las que la vida del paciente no está en riesgo aunque precisan de un tratamiento específico para que no se vuelvan mortales.

Compromiso Letal	Potencialmente Letales	Graves
Neumotórax a tensión	Contusión pulmonar unilateral	Fracturas costales de escápula y clavícula
Neumotórax abierto	Hernia diafragmática	Neumotórax simple
Hemotórax masivo	Contusión miocárdica	Hemotórax simple
Tórax inestable	Lesiones aórticas	Contusión torácica
Taponamiento cardiaco	Lesiones esofágicas	Enfisema subcutáneo
Contusión pulmonar bilateral	Lesión traqueobronquial	Asfixia traumática

Tabla 2.2: Clasificación de las lesiones torácicas según su gravedad.

[40]

2.2.5. Traumatismo En Extremidades

Son lesiones que afectan al sistema osteoarticular y muscular puesto que las extremidades superiores e inferiores se ven comprometidas. Supone uno de los traumatismos de mayor frecuencia en los centros hospitalarios ya que las extremidades son las partes anatómicas del cuerpo que más riesgo tiene de ser afectadas en este tipo de trauma [41]. En el caso de verse dañado el sistema articular, se puede distinguir entre luxaciones, como se puede ver en la Figura 2.5 (a) y esguinces, como se refleja en la Figura 2.5 (b). En el caso de darse el sistema óseo destacan las fracturas, tal y como puede verse en la Figura 2.5 (c). En este proyecto solo se van a considerar traumatismos en extremidades que pongan en riesgo la vida del paciente y que puedan implicar la pérdida del miembro.

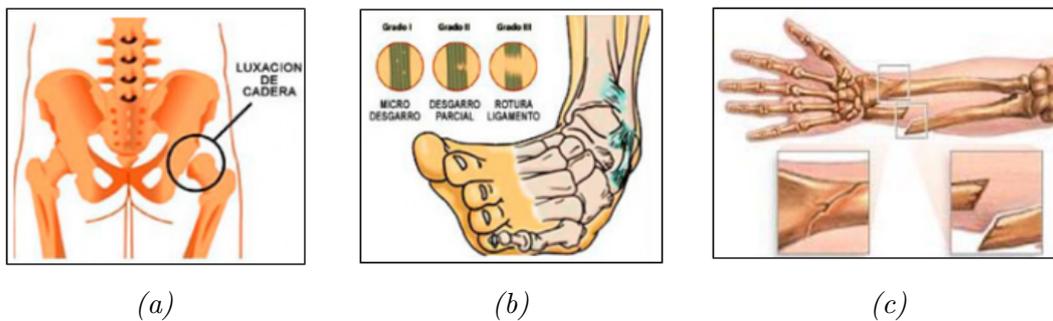


Figura 2.5: Tipos de lesiones en el traumatismo en extremidades. (a) Luxación (b) Esguince (c) Fractura

[42]

2.3. Tratamiento de los Traumatismos

Frente a un traumatismo grave, es esencial que la atención prestada a la víctima en los primeros instantes sea eficiente, clara y estructurada ya que su supervivencia depende directamente del tiempo que los equipos invierten en lograr su estabilización [43]. Cada centro hospitalario diseña un plan específico de actuación frente a un paciente traumatizado, sin embargo, la mayoría de ellos se basan en los conceptos, universalmente definidos, en el curso Advanced Trauma Life Support (ATLS) [44].

Esta guía fue desarrollada en 1978 por el Colegio Americano de Cirujanos de Estado Unidos y se ha aceptado como un método estandarizado de asistencia y evaluación inicial para pacientes traumáticos [45]. Está orientada a entrenar y ayudar a los médicos con el fin de mejorar el pronóstico del paciente mediante una atención sistematizada y en el menor tiempo posible. El ATLS representa un cambio de enfoque respecto a otros protocolos ya que se fundamenta en realizar una primera evaluación rápida para detectar las lesiones que ponen en riesgo la vida del paciente y tratarlas por orden de prioridad. Esta evaluación inicial o primaria se conoce como el abordaje ABCDE, comprende cinco fases tal y como puede verse en la Figura 2.6 y serán detalladas a continuación. Gracias a la implementación de estos protocolos, la asistencia inicial a los pacientes que padecen un traumatismo se ha visto considerablemente mejorada y ha conllevado a una disminución de la mortalidad del 68 % al 34 % según datos mencionados en [46].



Figura 2.6: Abordaje ABCDE
[47]

El proceso para atender a un paciente politraumatizado se lleva a cabo en dos fases clínicas distintas [48]. En primer lugar, la fase prehospitalaria, donde los profesionales médicos llevarán a cabo el protocolo ABCDE en el menor tiempo posible. En segundo lugar, la fase hospitalaria que conlleva la preparación de todos los trámites necesarios para que el personal de trauma y los recursos, estén disponibles cuando se requieran y así conseguir la reanimación del paciente de una manera rápida y eficaz. Además, debe existir una perfecta coordinación entre el equipo de emergencias extrahospitalario y el personal que se encuentra en el hospital. En ambos escenarios, es necesario realizar un proceso de selección y clasificación de los pacientes denominado triaje. Mediante este procedimiento, los pacientes son categorizados según su gravedad, prioridad o necesidad de ser atendido.

2.3.1. Revisión Primaria

Su objetivo se centra en realizar una evaluación inicial rápida y tratar, en primer lugar, las lesiones que pueden poner en riesgo la vida del paciente. Este esquema de actuación es conocido como protocolo ABCDE y persigue lograr la estabilización de los pacientes [48].

2.3.1.1. A: Vía aérea con control de la columna cervical

Lo primero a examinar en un paciente que presenta un traumatismo, es la vía aérea superior, de ahí que la primera letra del protocolo ABCDE sea la A: Airway. Se

realiza una inspección de la misma elevando el mentón y la mandíbula, hacia arriba y hacia delante, con el fin de encontrar signos de obstrucción de la vía como cuerpos extraños o fracturas faciales, mandibulares y traqueales. La causa más frecuente por la que suele existir una obstrucción de la vía aérea es la caída de la base de la lengua hacia atrás [49]. Esto suele ocurrir cuando la víctima está inconsciente o bien sufre vómitos, o tiene cuerpos extraños en la vía aérea o secreciones. En estos casos se pueden utilizar cánulas orofaríngeas, que aseguran la permeabilidad de la vía aérea evitando su obstrucción.

En el caso de que el paciente responda al diálogo, es muy probable que la vía aérea no se encuentre comprometida pero, a pesar de ello, es conveniente comprobar la permeabilidad de la misma en repetidas ocasiones. Por el contrario, si el paciente presenta un nivel de consciencia con una puntuación menor a nueve en la Escala de Coma de Glasgow, se realizará la intubación orotraqueal. Si esto no se logra, se intervendrá quirúrgicamente al paciente para establecerle una vía aérea alternativa.

Mientras se realiza el control de la vía aérea hay que tener especial cuidado en que la columna cervical del paciente no se mueva excesivamente: por lo que se deben utilizar dispositivos de fijación tales como los collarines cervicales, hasta descartar que no exista lesión.

2.3.1.2. B: Ventilación

Posteriormente a la vía aérea, se comprobará el estado de las vías respiratorias del paciente. Así pues, se comprobará el correcto funcionamiento de los pulmones, la pared torácica y el diafragma, y si estos logran una ventilación satisfactoria. Para comprobar una correcta ventilación del paciente estas estructuras deben ser revisadas y evaluadas rápidamente. Se debe auscultar al paciente para determinar si el flujo de aire en los pulmones es correcto, identificando si existe sangre o aire en la cavidad pleural. También es importante inspeccionar y palpar tanto el tórax como el cuello para descartar posibles lesiones que ponen en riesgo la ventilación del paciente tales como pueden ser, el neumotórax a tensión, el tórax inestable, el hemotórax masivo o el neumotórax abierto.

Mediante el pulsioxímetro y el capnógrafo se controla la saturación de O₂ del paciente y los niveles de CO₂ de forma que si el paciente es capaz de ventilar por sí mismo se coloca simplemente una mascarilla con oxígeno. En caso contrario, se ventila al paciente con una bolsa autoinflable.

2.3.1.3. C: Circulación y control de sangrado

Es fundamental controlar la hemorragia que pueda desarrollarse como consecuencia de un traumatismo grave, ya que constituye la causa de muerte evitable más importante [48]. Primeramente, hay que identificar si la hemorragia es una hemorragia externa o interna. Para ello se realiza un control del estado hemodinámico del paciente valorando el estado del nivel de consciencia, el color de la piel y el pulso.

Al mismo tiempo, se deben monitorizar las constantes vitales del paciente y coger dos vías venosas periféricas de grueso calibre para la administración de suero fisiológico. Gracias a estas dos vías, se compensará la pérdida de fluidos que puede estar sufriendo el cuerpo debido a la hemorragia. En el caso de hemorragia externa, es conveniente aplicar presión directa sobre la lesión. Si por el contrario la hemorragia es interna, se realizan pruebas de imagen médica para tratarla eficazmente. Es frecuente la pérdida de un gran volumen de sangre en los traumas graves por lo que es necesario reponer el volumen sanguíneo mediante transfusiones masivas.

2.3.1.4. D: Valoración neurológica

Se realiza una valoración neurológica para determinar el nivel de consciencia, el tamaño de las pupilas y la reacción del paciente.

Para analizar el nivel de consciencia se emplea la Escala de Coma de Glasgow. La consciencia del paciente puede verse comprometida debido a la presencia de un traumatismo craneoencefálico o por disminución del nivel de oxígeno en el cerebro. Si tiene lugar un descenso del nivel de consciencia, es necesario volver a reevaluar las etapas anteriores con el fin de confirmar que no existan lesiones no identificadas hasta el momento. También, las drogas, el alcohol o la hipoglucemia, pueden alterar negativamente el estado de consciencia del paciente.

2.3.1.5. E: Exposición

El paciente debe quedar totalmente expuesto para poder ser evaluado correctamente. Tras examinar al paciente, se le proporciona calor mediante mantas térmicas con el fin de evitar una posible hipotermia. Además, la sala donde se realiza el examen debe presentar una temperatura adecuada y las soluciones que se le inyectan al paciente deben de ser calentadas previamente, todo ello para conseguir mantener su temperatura corporal dentro de los límites adecuados.

2.3.2. Revisión Secundaria

La evaluación secundaria solo se puede llevar a cabo una vez finalizado el reconocimiento primario (ABCDE). Esta revisión consiste en un examen detallado con el fin de evaluar de nuevo los signos vitales y organizar las lesiones existentes por aparatos y sistemas orgánicos [50]. Esta revisión conlleva la realización de una historia clínica completa, un examen físico y estudios complementarios como radiológicos o de laboratorio, para el diagnóstico de todas las lesiones. Cada región anatómica es examinada completamente ya que, en el caso de pacientes inconscientes e inestables, existe gran riesgo de pasar por alto alguna lesión o de interpretarse inadecuadamente.

2.4. Protocolos de Actuación

El algoritmo de actuación consiste en un protocolo en el cual se proponen las acciones principales a llevar a cabo cuando se hace frente al tratamiento de un paciente

con una lesión traumática. Existen distintos tipos de protocolos en función del tipo de traumatismo que sufra el paciente. Nos hemos basado en los protocolos de actuación que se llevan a cabo en el Complejo Universitario de Toledo y que se explicarán con detalle a continuación [51].

2.4.1. Protocolo de Actuación en Traumatismo Craneoencefálico

En primer lugar, cuando se atiende a un paciente que ha sufrido un traumatismo craneoencefálico, hay que evaluar si el paciente se encuentra estable o no. Si el paciente no se encuentra estable, se procede a realizar el protocolo ABCDE para conseguir su estabilización y posteriormente, se ingresa en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI).

En el caso de que el paciente se encuentre estable, se lleva a cabo una exploración neurológica completa para descartar la presencia de amnesia. Los posibles síntomas son los vómitos, la pérdida de conocimiento o la cefalea. Adicionalmente, se lleva a cabo una analítica sanguínea, especialmente si el paciente toma anticoagulantes orales de acción directa (ACOD) o existe sospecha de alteración en la coagulación sanguínea. Se valorará también realizar un TAC dependiendo de los síntomas que presente el paciente, según el resultado se seguirán distintos caminos. Si el resultado del TAC no presenta patología, puede ocurrir que la situación clínica sea buena y el paciente sea dado de alta o que la situación clínica no sea la correcta y el paciente pasará a observación. Por el contrario, si el TAC resulta patológico, puede resultar en una patología intracraneal que requerirá neurocirugía, o una patología extracraneal que será desviada a otorrinolaringología, oftalmología o cirugía maxilofacial dependiendo del tipo de lesión.

2.4.2. Protocolo de Actuación en Traumatismo Abdominal

Tal y como se ha comentado en la clasificación de los distintos tipos de traumatismos abdominales detallados en este Capítulo, estos pueden ser cerrados, en el 90 % de los casos, o abiertos, que son menos frecuentes. Una vez identificado el tipo de traumatismo, se siguen dos caminos distintos aunque en ambos deberá realizarse el abordaje ABCDE y una analítica sanguínea. Tras esta evaluación inicial, y con el resultado de la analítica, se determinará si el paciente se encuentra hemodinámicamente estable o no, lo que permite distinguir a su vez varios caminos:

- **Trauma abdominal cerrado con estabilidad hemodinámica:** Se lleva a cabo una evaluación secundaria, inspeccionando con detalle el abdomen. Si se encuentra patología, se solicitará un TAC abdominal para confirmar si existe algún órgano dañado o una víscera hueca. En caso negativo se valorará si el paciente puede recibir el alta o quedarse en observación durante un periodo de 24 horas para seguir su evolución. En caso de que el resultado del TAC muestre algún daño y dependiendo de la gravedad de la lesión, se procederá al ingreso en planta, en la Unidad de Cuidados Intensivos o el traslado a quirófano para realizar una cirugía de urgencia.

- **Trauma abdominal cerrado sin estabilidad hemodinámica:** El objetivo fundamental en pacientes que no presentan estabilidad hemodinámica, es conseguir por todos los medios su estabilización. Para ello se administran fármacos como analgésicos o cristaloides o bien se realiza una transfusión sanguínea. Paralelamente, se lleva a cabo un Eco-FAST y/o una laparotomía urgente para inspeccionar la zona abdominal.
- **Trauma abdominal abierto con estabilidad hemodinámica:** Se debe realizar un examen de la herida para descartar que sea penetrante. Si no lo es, se llevará al paciente a observación para seguir su evolución. Por el contrario, si la herida es penetrante, se realiza un TAC o una ecografía abdominal y en función de su gravedad se determinará si se realiza una cirugía de urgencia o monitorizar su evolución en observación.
- **Trauma abdominal abierto sin estabilidad hemodinámica:** Estos casos suelen deberse a lesiones producidas por armas de fuego y comprometen en gran medida la vida del paciente. Por lo tanto, estos pacientes suelen ser llevados directamente a quirófano para practicarles una cirugía urgente.

2.4.3. Protocolo de Actuación en Traumatismo Torácico

Tras un traumatismo torácico se siguen distintas actuaciones dependiendo de si el traumatismo es de alta o de baja energía.

- **Alta energía:** se realiza una evaluación inicial siguiendo el protocolo ABCDE y un diagnóstico identificando las lesiones que ponen en riesgo la vida del paciente. En el caso de presentar un neumotórax simple, a tensión o abierto, es esencial la colocación de un tubo torácico entre el 4^o y 5^o espacio intercostal. También es frecuente la presencia del hemotorax masivo, que genera hipoventilación, hipovolemia y distensión en las venas del cuello por lo que es necesario colocar un tubo torácico de un diámetro menor a 28F, en el quinto espacio intercostal. En el caso de lesiones por taponamiento cardiaco, es necesario realizar una pericardiocentesis, una toracotomía o una estereotomía media. También pueden aparecer fracturas en las costillas por lo que se recurre a oxigenoterapia, control del dolor e ingreso en la Unidad de Cuidados Intensivos.
- **Baja energía:** En los traumatismos de baja energía se distingue, el traumatismo costal y el esternal. En el primer caso, se realiza una radiografía del esternón, de manera que si existe fractura se administra troponina y se lleva a cabo un electrocardiograma cuyo resultado dictará si se debe realizar un ecocardiograma. Tras los resultados de las pruebas, se valorará si el paciente debe ser ingresado observando su evolución o no. En el caso de un traumatismo esternal, se realizará una radiografía de tórax. Si existen tres o más fracturas costales se valorará el ingreso del paciente. Por el contrario, si existen una o dos fracturas, se inspeccionará la zona costal y se realizará un TAC, en función del resultado el paciente será ingresado o dado de alta. Adicionalmente, es importante mantener un control sobre el dolor provocado, la saturación de oxígeno y la estabilidad del tórax.

2.4.4. Protocolo de Actuación en Traumatismo Pélvico

Ante la sospecha de un traumatismo pélvico, se procederá en primer lugar a realizar el protocolo ABCDE. Posteriormente, se estudiará si el paciente presenta estabilidad hemodinámica y se fijará la pelvis mediante procedimientos no invasivos como una faja o un cinturón pélvico. Adicionalmente se realizará una radiografía tanto de tórax como de pelvis.

Si el paciente presenta inestabilidad hemodinámica, se llevara a cabo un Eco-Fast para determinar si existe o no lesión. Si el resultado de la prueba es positivo y se encuentran daños, se le practicará una cirugía en la que se incluirá una laparotomía y una posible fijación externa de la pelvis si fuese necesario. En el caso de que el resultado de la prueba no presente ninguna anormalidad, se volverá a repetir la prueba pasados 10 minutos. En ambos casos, si la inestabilidad continua se procederá a realizar el protocolo de transfusión masiva y la fijación externa de la pelvis si no se ha realizado anteriormente. Una vez que se ha conseguido estabilizar al paciente, se realiza un TAC abdominopélvico con contraste, con el fin de detectar posibles sangrados. Finalmente, se comprobará la estabilidad del anillo pélvico, de forma que en función del resultado obtenido se procederá a fijar definitivamente el anillo pélvico. Si no presenta inestabilidad, se programará una cirugía a corto o medio plazo. Por el contrario, si el anillo pélvico es inestable, se practicará una cirugía de urgencia para la fijación externa de la pelvis.

2.4.5. Protocolo de Actuación en Traumatismo en Extremidades

Del mismo modo que se ha realizado en el resto de traumatismos, se lleva a cabo la evaluación primaria ABCDE a partir de la cual se distinguen los pacientes hemodinamicamente estables e inestables:

- **Hemodinamicamente estable:** Se lleva a cabo una evaluación secundaria que incluirá un examen físico y estudios radiológicos con el fin de identificar el tipo de lesión y su gravedad. Estas lesiones pueden ser fracturas abiertas, luxaciones, lesiones vasculares, amputaciones o síndromes compartimentales. En función del tipo de lesión, se realizarán los tratamientos oportunos como inmovilización de los miembros, lavados, aplicación de frío, presión directa o incluso cirugías urgentes. Una vez que las lesiones son controladas y tratadas, se valorará su ingreso o su alta.
- **Hemodinamicamente inestable:** En este caso los esfuerzos se centrarán en estabilizar al paciente mediante reanimación, administración de fármacos y control de la hemorragia con torniquete o con inmovilización de la zona afectada. Existen principalmente dos lesiones que pueden ser mortales, en las que habrá que poner especial atención, estas son la lesión neurovascular y el síndrome por aplastamiento. Tras conseguir la estabilización del paciente se seguirán las actuaciones descritas en el punto anterior.

Capítulo 3

Simulador Web Interactivo

En este Capítulo se explica el funcionamiento general del simulador web interactivo y las tecnologías utilizadas para su implementación. Además, se detallará el desarrollo software que se ha llevado a cabo para poder generar los distintos escenarios de trauma que permitan entrenar al personal clínico en el manejo de la enfermedad traumática grave.

3.1. Descripción general del simulador clínico

El simulador clínico ha sido desarrollado con el objetivo de que el personal clínico del Hospital Universitario La Paz pueda entrenar los protocolos de actuación que se llevan a cabo ante un traumatismo grave en diferentes escenarios de trauma. El diseño está basado en la automatización de un paciente virtual que presenta cuatro casos clínicos distintos de enfermedad traumática grave. Adicionalmente, cada uno de estos casos clínicos se podrán practicar tanto en entornos prehospitalarios como hospitalarios. De esta manera, se ha diseñado una interfaz gráfica con un entorno prehospitalario y otro hospitalario, puesto que así se puede entrenar no solo al personal clínico que se encuentra en el hospital sino también en los servicios de emergencias.

En cada una de estas interfaces se han incorporado las técnicas de actuación que se llevarían a cabo en la vida real frente a estos casos clínicos tanto fuera del hospital como dentro del mismo. Así pues, los profesionales médicos tendrán que determinar, a lo largo de la simulación, las técnicas de actuación a utilizar en cada caso para atender al paciente de la mejor manera posible. Los casos clínicos han sido diseñados por un profesional, quien determina los parámetros fisiológicos iniciales del paciente así como la evolución del mismo en función de las acciones que se lleven a cabo.

La interfaz principal del simulador se compone de tres componentes fundamentales, que se presentan a continuación:

- **Maniquí Virtual:**

Mediante el maniquí virtual se representa al paciente, siendo sus constantes vitales distintas en cada uno de los casos clínicos. Este paciente virtual está dotado de realismo de forma que cada técnica que se realice quedará directamente reflejada en el maniquí tal y como se puede ver en la Figura 3.1.

En ella, se puede observar a este paciente virtual, al cual se le ha aplicado la técnica de ventilación con bolsa autoinflable para proporcionarle el oxígeno que requiere.

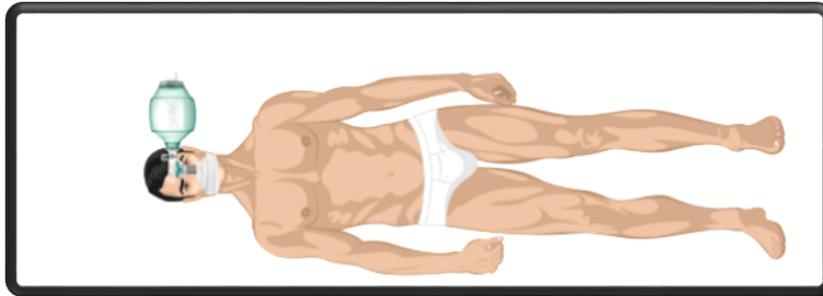


Figura 3.1: Maniquí virtual con ventilación mediante bolsa autoinflable.

- **Panel de Constantes Vitales:**

El panel de constantes vitales está constituido por tres gráficas que representan la frecuencia cardiaca, la frecuencia respiratoria y la saturación de oxígeno del paciente en sangre, tal y como se puede ver en la Figura 3.2. Estas gráficas muestran las constantes vitales en tiempo real pudiendo ver la evolución que tienen a lo largo de la simulación, reflejando las respuestas fisiológicas del paciente cuando es tratado. El valor que toman las constantes vitales en las gráficas también se muestra en la parte derecha de la Figura, junto con otras constantes vitales como son la presión diastólica y la presión sistólica. Este panel simula el monitor de constantes vitales presente en cualquier hospital.



Figura 3.2: Monitor de constantes vitales.

- **Batería de Acciones:**

La batería de acciones está constituida por pruebas diagnósticas, tratamientos, derivaciones a otras especialidades y mediación que se puede solicitar y/o aplicar al paciente para tratar los diferentes traumas. Esta batería de acciones será distinta en función de si el entorno es hospitalario o prehospitalario. En el caso de que el escenario clínico sea hospitalario, las acciones estarán agrupadas en siete categorías. Estas categorías son: anamnesis, vía aérea y ventilación, circulación/hemorragias externas, exposición/otros, fármacos y fluidoterapia, pruebas complementarias, e inmovilización. Al seleccionar cada categoría aparecerán en la parte inferior múltiples acciones que se pueden llevar a cabo, tal y como se puede ver en la Figura 3.3.



Figura 3.3: Batería de acciones de la interfaz hospitalaria donde se ha seleccionado la categoría de circulación/hemorragias externas

Por el contrario, si el escenario clínico es prehospitalario habrá seis categorías tal y como se puede ver en la Figura 3.4. Este escenario no cuenta con la categoría de pruebas complementarias a diferencia del escenario anterior.

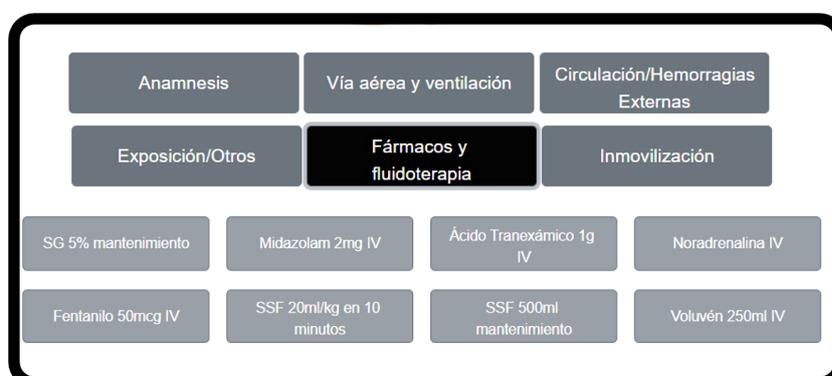


Figura 3.4: Batería de acciones de la interfaz hospitalaria donde se ha seleccionado la categoría de fármacos y fluidoterapia.

En algunas categorías las acciones son diferentes según el escenario clínico por ejemplo, en la categoría de inmovilización, las acciones de férula de vacío, colchón de vacío y cinturón pélvico solo aparecen en el entorno extrahospitalario y no en el hospitalario.

Las distintas acciones van a permitir tratar al paciente y realizar las pruebas diagnósticas necesarias para conseguir su estabilización. Cuando se aplique una acción específica, esta va a tener consecuencias en el resto de las partes de la interfaz. De esta manera, se producirán cambios en el aspecto del maniquí, y en sus constantes vitales.

La interfaz principal del simulador con los tres elementos descritos anteriormente se puede ver en la Figura 3.5. Esta figura representa un escenario de trauma hospitalario, donde se ha seleccionado la categoría de fármacos y fluidoterapia, concretamente la acción de administrar al paciente 2mg de Midazolam.

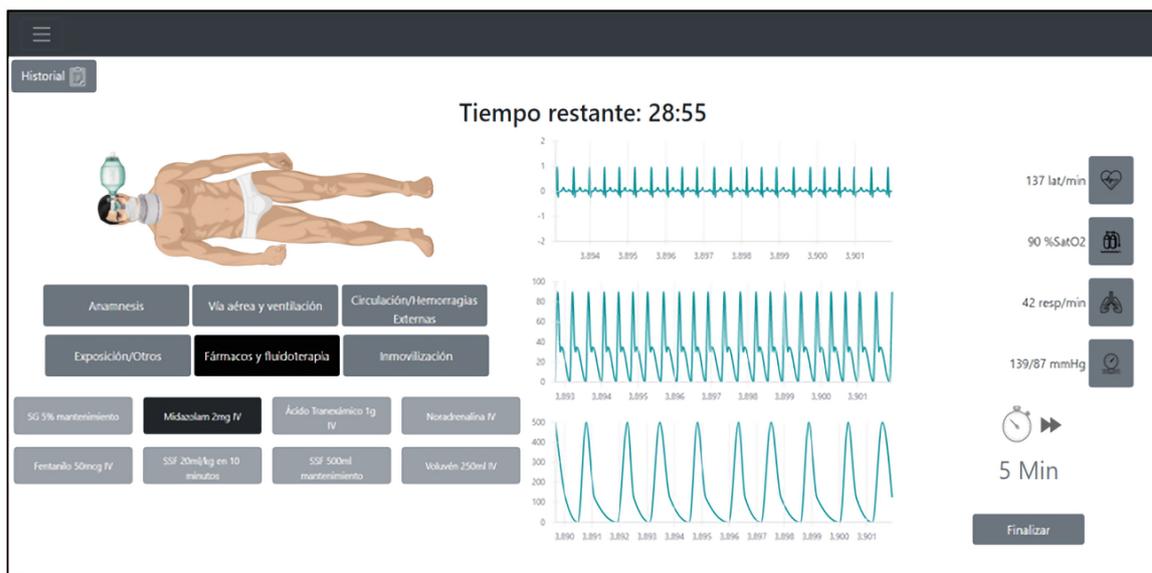


Figura 3.5: Interfaz principal del simulador en entorno prehospitalario.

Los resultados de las pruebas diagnósticas que se soliciten estarán disponibles para ser consultados. Por ejemplo, se podrá solicitar una radiografía de pelvis, recogidas en el Anexo F y, en función del caso clínico que se este realizando, aparecerá, en el icono de la esquina superior izquierda que aparece en la Figura 3.5, un resultado distinto de esta prueba. También debajo de este icono se puede observar, que se puede seleccionar la opción de historial, en el que se recogen todas las acciones que se han realizado hasta el momento y el tiempo en el que se ha realizado cada una de ellas. Además, en la esquina inferior derecha de la Figura 3.5 apareció un reloj con la opción de adelantar el tiempo de la simulación cinco minutos y debajo de este reloj, hay un botón de finalizar, que se pulsará cuando se termine de realizar la simulación.

Adicionalmente, durante el desarrollo de la simulación se generarán datos en tiempo real que serán recogidos en un informe. Este informe podrá ser descargado tras la realización de la simulación, tal y como se indica en el Anexo G, y en él, se reflejan las acciones llevadas a cabo por el estudiante y la variación de las constantes vitales del paciente virtual. Así, el docente podrá evaluar si el desarrollo de la simulación se ha realizado correctamente. Estos datos quedarán también almacenados en la base de datos de la aplicación y serán utilizados posteriormente para realizar la validación clínica de la herramienta, la cual será detallada en el Capítulo 5 del presente Proyecto.

3.2. Tecnologías utilizadas en el desarrollo del proyecto

3.2.1. JavaScript

Es un lenguaje de programación empleado generalmente, para crear páginas web interactivas y dinámicas [52]. Se trata de un lenguaje interpretado, es decir, los programas desarrollados con él, no hay que compilarlos, se pueden ejecutar directamente en cualquier navegador sin procesos intermedios. Además, es multiplataforma ya que se puede utilizar en Windows, Linux o Mac y se ha convertido en un estándar para la programación del frontend o del lado del cliente, ya que es compatible con todos los navegadores existentes en el mercado [53]. Constituye una de las tecnologías principales de la web junto con HTML y CSS, que han sido utilizadas también en el presente Trabajo Fin de Grado y que serán detalladas a continuación.

Adicionalmente, desde hace años se ha desarrollado una versión compatible con el lado del servidor, también llamado backend. Esto va a permitir dar respuesta a las peticiones que realice el cliente al servidor como puede ser por ejemplo, solicitar datos o bien almacenarlos.

JavaScript posee un amplio abanico de librerías para poder llevar a cabo todas sus funcionalidades, entre ellas destaca React que ha sido empleada para el desarrollo del frontend del simulador y que también será presentada posteriormente.

3.2.2. HTML

HTML (HyperText Markup Language) es el lenguaje utilizado para definir el contenido de una página web. Fue introducido por primera vez en 1980, por un físico investigador del CERN (Organización Europea para la investigación nuclear) llamado Tim Berners-Lee, lo que supuso una auténtica revolución en la época [54].

HTML está basado en etiquetas o marcas de hipertexto, que sirven para establecer los distintos elementos que van a constituir la página web [55]. Estos elementos están formados por una etiqueta de apertura, una etiqueta de cierre y un contenido, que en su conjunto constituirán las distintas partes que componen una página. El código HTML se implementa en un archivo de texto con extensión .html.

3.2.3. CSS

CSS (Cascading Style Sheets) es el lenguaje empleado para dotar de cualidades estéticas y visuales el contenido de una página web [56]. Es decir, se emplea para dar estilo a las etiquetas de un documento HTML, consiguiendo un diseño atractivo de la página web.

Este lenguaje recibe el nombre de hojas de estilo en cascada puesto que es posible tener múltiples hojas de estilo y una de ellas, por ejemplo, puede tener las propiedades heredadas (o en cascada) de otras. CSS emplea una sintaxis simple y utiliza un conjunto de palabras clave para dar nombre a las distintas propiedades de estilo que pueden utilizarse.

3.2.4. React

Es una biblioteca de JavaScript que sirve para crear interfaces de usuario [57]. Estas interfaces están compuestas por uno o varios componentes que dividen la interfaz de usuario en piezas independientes con las que el usuario puede interactuar. React construye la interfaz a partir de la unión de dichos componentes según la forma que el programador considere y estos componentes pueden ser reutilizados para crear diferentes interfaces. Se caracteriza por su facilidad, sencillez, flexibilidad y organización del código lo que la convierte en una de las librerías más empleadas para el desarrollo de la parte visual de la aplicación, conocido como frontend.

Otra de las características de React es su DOM virtual. El DOM (Document Object Model) es la representación de la estructura de los objetos que genera el navegador cuando se carga la aplicación que se ha creado [58]. Cuando se modifica algún elemento de la interfaz, el DOM se actualiza, de forma que, al tener una estructura en forma de árbol, se deben actualizar todos sus elementos hijos y esto puede ralentizar la aplicación. Sin embargo, React consta de un DOM virtual que es capaz de generar el DOM de manera dinámica. Este proceso dinámico consiste en guardar en una memoria los cambios que se produzcan en cada elemento de la interfaz y comparar estos cambios con la versión actual del DOM. Cuando se detecta un cambio, tan solo se actualiza el elemento modificado, sin necesidad de volver a renderizar todos los elementos hijos. Esto aporta un mayor rendimiento y fluidez y por ello, se ha elegido React para el desarrollo de la parte visual del simulador.

3.2.5. MySQL

MySQL es un sistema de código abierto para la administración de bases de datos relacionales a través del modelo cliente-servidor. Fue lanzado originalmente en 1995 y desde entonces ha tenido varios cambios de propiedad hasta que en 2010, terminó en manos de la compañía Oracle Corporation [59]. A continuación se presentan los conceptos usados en la definición de MySQL con el fin de clarificar su significado.

- Un sistema de **código abierto** o también conocido como open source, hace referencia a que el usuario puede manipular y modificar el código fuente con total libertad, en función de sus necesidades.
- Una **base de datos** es una colección estructurada de datos que puede ser usada y extraída de forma sencilla. Se habla de base de datos **relacional** cuando los datos están agrupados en tablas y estas guardan relación entre ellas. Por lo tanto, MySQL va a permitir crear bases de datos cuyas tablas están conectadas unas con otras.
- El **modelo cliente-servidor** se basa en la participación conjunta de un cliente y un servidor. El cliente es quién quiere consultar o modificar los datos y el servidor donde residen dichos datos. De esta forma, el cliente realiza una petición al servidor de la base de datos, y este le devuelve una respuesta con los datos que ha solicitado el cliente. Las peticiones se realizan por medio del lenguaje SQL (Structured Query Language) que se describe en la próxima sección.

3.2.6. SQL

SQL (Structured Query Language) es un lenguaje de consulta estructurada que permite interactuar con la base de datos relacional [60]. Es importante no confundirlo con MySQL, como se explicaba anteriormente, MySQL permite crear una base de datos relacional a través del modelo cliente servidor mientras que, SQL es un lenguaje de consulta que emplean tanto el cliente como el servidor para comunicarse mutuamente. Fue inventado en la década de 1970 y permite realizar operaciones de selección, inserción, actualización y borrado de datos, así como operaciones administrativas sobre las bases de datos. En este Trabajo Fin de Grado se ha utilizado SQL para realizar consultas sobre las tablas de la base de datos del simulador, donde se almacena la información de los usuarios que han accedido al simulador clínico, las simulaciones llevadas a cabo por estos y cada una de las acciones y tratamientos que pueden ser ejecutados durante cada simulación.

3.2.7. Python

Es un lenguaje de programación de alto nivel utilizado principalmente en Big Data, IA (Inteligencia Artificial), Data Science y desarrollo web. Permite el uso de varios modelos de desarrollo como la programación orientada a objetos, la programación imperativa y la programación funcional. Fue desarrollado por Guido Van Rossum en 1988 y su uso se ha ido expandiendo progresivamente a lo largo de los años [61]. Debido a su sencillez y sus múltiples y diversas librerías para el análisis de datos, se ha seleccionado para realizar el análisis de los datos de este Proyecto.

Se ha utilizado la interfaz **Anaconda Navigator** que cuenta con una serie de librerías y paquetes específicos para el análisis de datos. En concreto, se ha empleado el entorno **Jupyter Notebook** que proporciona varias librerías que se presentan a continuación:

3.2.7.1. Pandas

Pandas es la librería más empleada para la manipulación y el análisis de datos con Python. Emplea tres tipos de objetos para poder tratar los datos. Estos objetos son: las Series, los DataFrame y los Paneles, que son estructuras que almacenan datos en una, dos o tres dimensiones, respectivamente. En este Trabajo Fin de grado se han empleado los DataFrame, que son tablas bidimensionales organizadas en filas y columnas que permiten obtener el conjunto de datos que nos interese y trabajar con ellos de una forma sencilla y rápida.

3.2.7.2. Matplotlib

Matplotlib es una librería que se emplea para visualizar los datos. Permite obtener gráficos en dos dimensiones como por ejemplo diagramas de barras, de cajas, de dispersión, o histogramas. Se trata, por tanto, de una librería muy flexible y muy eficaz para la representación de los datos mediante figuras en varios formatos.

3.3. Desarrollo software

3.3.1. Desarrollo de componentes adicionales

Para dotar del máximo realismo al simulador web interactivo desarrollado surge la necesidad de innovar en nuevos elementos que hagan de la interfaz de usuario, el componente más adecuado para que los clínicos puedan entrenarse de una manera eficiente y sencilla. Se parte de una versión inicial del simulador, por ello, se han analizado las necesidades presentes en la interfaz de usuario y se han llevado a cabo una serie de mejoras que van a permitir emular los distintos escenarios de trauma de la manera más realista posible:

- **Mensaje informativo**

En todo escenario clínico real, cuando los profesionales médicos atienden a un paciente que ha sufrido un traumatismo, necesitan conocer previamente la información detallada del paciente que se va a tratar. Esta información hace referencia a los datos personales del paciente, las constantes vitales que presenta en ese momento y la región del cuerpo que ha sido afectada debida al traumatismo. De esta manera, cuando comienza a realizarse una simulación es necesario que exista información relevante del paciente que ponga a los clínicos en situación y contexto. Por ello, cuando un usuario accede a realizar una simulación, va a aparecer un mensaje informativo que contiene la información detallada del paciente referida a su sexo, edad, zona del traumatismo y valor de las constantes vitales.

- **Realismo en el maniquí virtual**

Lo ideal en el presente simulador clínico es que las acciones que se realizan durante el desarrollo de la simulación se reflejen en el maniquí virtual dotándole de un mayor realismo. De esta forma, si por ejemplo se selecciona la acción

de oxigenoterapia con mascarilla reservorio, el maniquí aparecerá con una mascarilla de oxígeno como resultado de seleccionar dicha acción o si por ejemplo se selecciona la acción de collarín cervical, este aparece en el maniquí tal y como puede verse en la Figura 3.5. Estas imágenes se tienen que incorporar al maniquí por medio de un programa de edición de imágenes. Por lo tanto, para disminuir el tiempo que lleva al ingeniero la implementación de estas imágenes en el maniquí y para disminuir la complejidad del código, se ha implementado una nueva forma de incorporación de elementos en el maniquí sin necesidad de usar programas de editado de imágenes. Esta nueva solución versa en jugar con la posición del elemento sobre el maniquí, utilizando propiedades de estilo como el ancho, el largo y la altura de la imagen a incorporar, mediante el lenguaje CSS. La acción de ventilación con bolsa autoinflable, que se podía observar en la Figura 3.1, es un ejemplo de este nuevo método.

- **Clips de audio**

Existen acciones que requieren una reacción o respuesta del paciente para que el profesional médico pueda establecer las actuaciones a seguir. Este es el caso, por ejemplo, de la acción de auscultación. En cualquier situación, cuando se realiza la auscultación al paciente, el clínico percibe los sonidos que proporciona la auscultación y a partir de ellos puede determinar qué es lo siguiente que debe realizar. Por ello, se ha incorporado en la acción de auscultación un sonido que simula a un paciente que presenta sibilancia, es decir, sonidos agudos y silbantes que se producen durante la respiración a causa de un bloqueo parcial en las vías respiratorias. De esta manera, se podrán incorporar diferentes clips de sonido para reflejar distintas patologías en los pacientes.

3.3.2. Desarrollo del modelo relacional de la base de datos

Durante el desarrollo de la simulación, los datos generados por la aplicación son almacenados en una base de datos implementada con el software de MySQL. Esta base de datos recogerá la información de todos los usuarios que accedan al simulador identificando si son instructores o estudiantes (estudiantes, residentes o doctores). Además, también se almacenan los datos correspondientes a cada una de las simulaciones que han realizado estos usuarios. Es decir, se recogerán los casos clínicos que se implementen y las actuaciones que han llevado a cabo los participantes sobre dichos casos clínicos.

La base de datos utilizada en este Trabajo Fin de Grado es una una base de datos relacional formada por cinco tablas. Al ser un modelo relacional, estas tablas guardan relación unas con otras. Estas relaciones se establecen a través de dos claves, la Clave Primaria (PK) y la Clave Externa (FK). La Clave Primaria debe ser definida en cada una de las tablas y cuando se quiera relacionar una tabla con otra, esta Clave Primaria aparecerá como Clave Externa en la tabla con la que se establezca la relación. Es decir, cuando se quiere establecer una relación entre dos tablas, la clave primaria de la primera tabla aparecerá como clave externa en la segunda y/o viceversa, en función de si se relacionan en un único o en ambos sentidos. Las relaciones que se

establecen en cada una de las tablas de la base de datos del simulador clínico aparecen representados en la Figura 3.6.

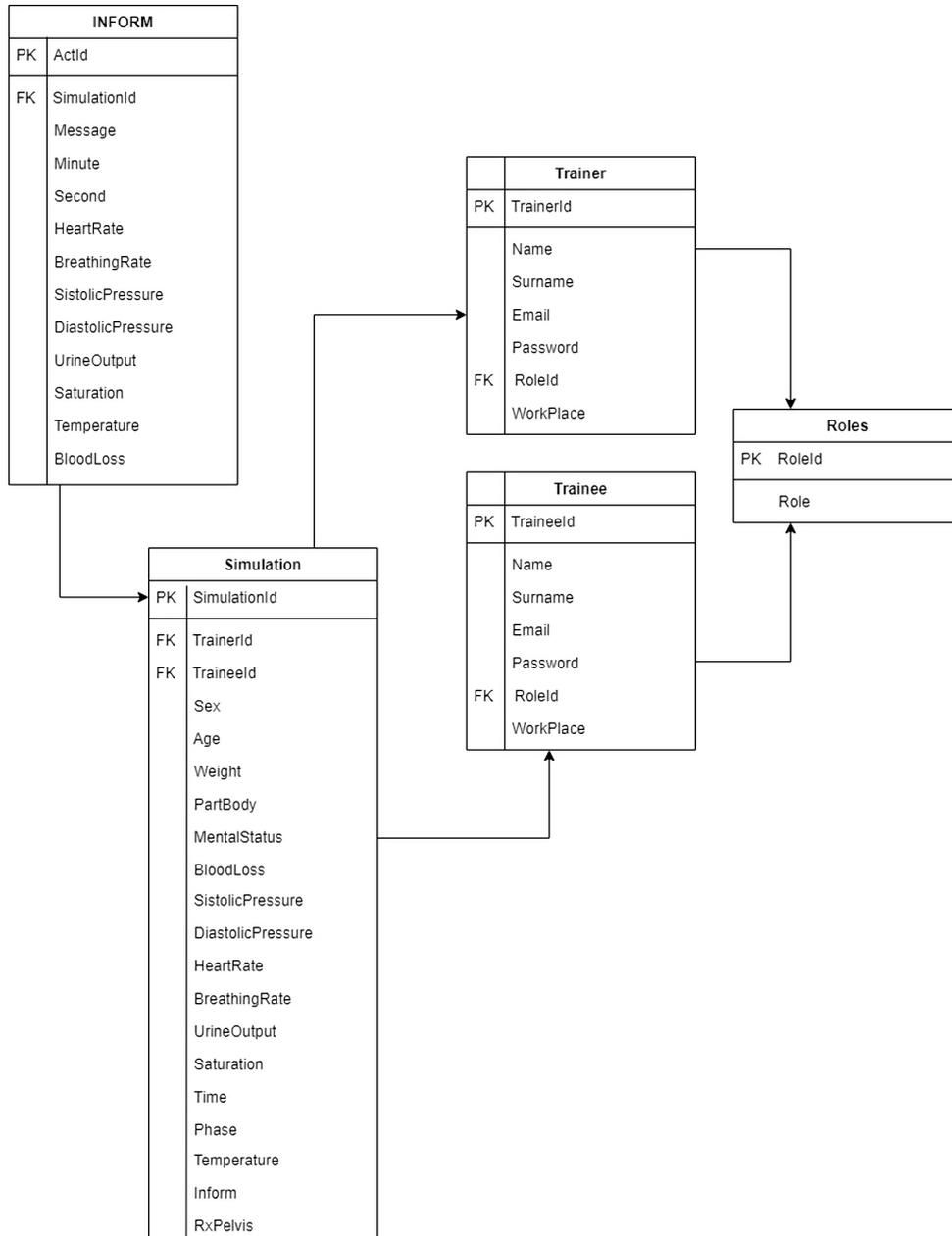


Figura 3.6: Modelo relacional de la base de datos del simulador clínico.

Capítulo 4

Diseño de Escenarios de Trauma

En este Capítulo se presenta el diseño de los distintos escenarios de trauma que se han implementado en el simulador para que los profesionales médicos puedan entrenar los protocolos de actuación correspondientes al tratamiento de estas lesiones.

4.1. Diseño de los casos clínicos

Cuanta más variedad de casos clínicos exista, mejor será el entrenamiento y la enseñanza que los profesionales adquieren ante el tratamiento de los traumatismos. Por ello, se han creado cuatro casos clínicos de pacientes reales que simulan lesiones de trauma pélvicas. Partiendo de un paciente que ha sufrido esa lesión pélvica y el cual necesita de tratamiento, se atenderá a un paciente virtual con unas constantes vitales que aparecerán en el caso clínico según las condiciones de cada paciente tras la lesión. Las constantes vitales que aparecerán serán la saturación de oxígeno en sangre, la frecuencia respiratoria, la frecuencia cardíaca, la presión sistólica y la presión diastólica. Además, en cada caso clínico habrá una afectación en una región pélvica distinta.

Los usuarios que se enfrenten a estos casos clínicos contarán con 30 minutos para poder estabilizar y atender al paciente, pasado ese tiempo la simulación finalizará. A lo largo de estos 30 minutos, si no se lleva a cabo ninguna acción terapéutica sobre el paciente, éste tendrá una evolución de sus constantes vitales que llamaremos, curva de evolución natural. Así pues, estos valores evolucionarán hasta alcanzar valores que, en algún caso, pueden acarrear la muerte del paciente virtual. Si se llevan a cabo los protocolos de actuación adecuados, las constantes vitales del paciente evolucionarán favorablemente, consiguiendo la estabilización del mismo. A continuación se presentan los distintos casos clínicos incorporados en el simulador y la curva natural de evolución correspondiente a cada uno de estos casos.

4.1.1. Caso clínico 1

Se recibe un aviso de un varón de 25 años. Se encontraba detenido en un semáforo cuando un vehículo tipo turismo que no frena a tiempo, impacta por detrás. A su llegada, el paciente se encuentra consciente y orientado en decúbito supino. Se queja de fuerte dolor a nivel de ingle, concretamente en la región suprapúbica.

En este primer caso clínico, las constantes iniciales del paciente son: saturación de oxígeno del 98 %, frecuencia respiratoria de 26 resp/min, frecuencia cardiaca de 110 lat/min, presión sistólica de 141 mmHg y presión diastólica de 89 mmHg, tal y como se recoge en la Tabla 4.1, concretamente en la columna de 'Inicio 0'. La línea temporal de evolución natural del caso, si no se tomase ninguna medida terapéutica, también se recoge en la Tabla 4.1, del minuto 5 al minuto 30. A partir de las constantes vitales de estos cinco momentos se contruye la curva natural.

Parámetro	Inicio 0	Minuto 5	Minuto 15	Minuto 22	Minuto 30
Saturación (%)	98	96	90	85	81
Frecuencia Respiratoria (resp/min)	26	30	41	15	9
Frecuencia Cardiaca (lat/min)	110	120	135	121	63
Presión Sistólica (mmHg)	141	133	110	75	61
Presión Diastólica (mmHg)	89	81	65	52	42

Tabla 4.1: Evolución natural del caso clínico 1

4.1.2. Caso clínico 2

Se recibe un aviso de un varón de 33 años que se encontraba circulando en la carretera cuando de repente colisionó lateralmente con otro vehículo saliendo despedido fuera de la carretera y quedando su coche volcado de forma lateral. A su llegada, el paciente se encuentra consciente y orientado en decúbito lateral. Se queja de fuerte dolor en la parte superior de la pierna, concretamente en la región suprapúbica.

En este segundo caso clínico, las constantes iniciales de este paciente son: saturación de oxígeno del 90 %, frecuencia respiratoria de 41 resp/min, frecuencia cardiaca de 135 lat/min, una presión sistólica de 141 mmHg y una presión diastólica de 89 mmHg, tal y como se recoge en la Tabla 4.2. También se muestra la línea temporal de evolución natural del caso si no se tomase ninguna medida terapéutica para construir la curva de evolución natural del paciente.

Parámetro	Inicio 0	Minuto 5	Minuto 15	Minuto 22	Minuto 30
Saturación (%)	90	87	85	83	80
Frecuencia Respiratoria (resp/min)	41	41	35	25	15
Frecuencia Cardiaca (lat/min)	135	135	122	110	65
Presión Sistólica (mmHg)	141	135	125	88	65
Presión Diastólica (mmHg)	89	85	75	60	52

Tabla 4.2: Evolución natural del caso clínico 2

4.1.3. Caso clínico 3

Se recibe un aviso de un varón de 50 años. Se encontraba trabajando en una obra y se ha caído de un andamio que estaba a una altura de 6 metros. A su llegada el paciente se encuentra consciente y orientado en decúbito supino. Se queja de fuerte dolor en ambas ingles, región suprapúbica, sin poder girar ninguna de las dos piernas hacia afuera.

En este tercer caso clínico, las constantes iniciales del paciente son: saturación de oxígeno del 92 %, frecuencia respiratoria de 28 resp/min, frecuencia cardiaca de 120 lat/min, presión sistólica de 141 mmHg y una presión diastólica de 89 mmHg, tal y como se recoge en la Tabla 4.3. Como en los casos anteriores, también se muestra la línea temporal de evolución natural del caso si no se tomase ninguna medida terapéutica.

Parámetro	Inicio 0	Minuto 5	Minuto 15	Minuto 22	Minuto 30
Saturación (%)	92	89	86	82	80
Frecuencia Respiratoria (resp/min)	28	33	39	17	8
Frecuencia Cardiaca (lat/min)	120	130	140	120	60
Presión Sistólica (mmHg)	141	139	120	88	60
Presión Diastólica (mmHg)	89	85	80	55	40

Tabla 4.3: Evolución natural del caso clínico 3

4.1.4. Caso clínico 4

Se recibe un aviso de un varón de 82 años que se disponía a cruzar un paso de peatones cuando ha sido atropellado por una bicicleta, cayéndose al suelo. A su llegada el paciente se encuentra consciente y orientado en decúbito supino. Se queja de fuerte dolor en la cadera, en la región suprapúbica y no puede cargar su peso sobre la pierna izquierda.

En este cuarto caso clínico, las constantes iniciales de este paciente son: saturación de oxígeno del 95 %, frecuencia respiratoria de 28 resp/min, frecuencia cardiaca de 120 lat/min, una presión sistólica de 141 mmHg y una presión diastólica de 91 mmHg, tal y como se recoge en la Tabla 4.4. Como en los casos anteriores, también se muestra la línea temporal de evolución natural del caso si no se tomase ninguna medida terapéutica.

Parámetro	Inicio 0	Minuto 5	Minuto 15	Minuto 22	Minuto 30
Saturación (%)	95	93	88	83	81
Frecuencia Respiratoria (resp/min)	28	32	38	13	7
Frecuencia Cardiaca (lat/min)	120	135	141	118	58
Presión Sistólica (mmHg)	141	139	120	98	75
Presión Diastólica (mmHg)	91	89	85	66	51

Tabla 4.4: Evolución natural del caso clínico 4

4.2. Implementación de los casos clínicos

El simulador web interactivo es capaz de albergar cualquier caso de trauma que se requiera pero se ha decidido empezar con los escenarios de trauma pélvicos detallados anteriormente. Estos escenarios van a estar diseñados para tratarse tanto en entornos hospitalarios como extrahospitalarios. De esta forma, en función de la información obtenida en la anamnesis, que será detallada a continuación, de los valores iniciales de sus constantes vitales y de la región del cuerpo afectada, los usuarios tendrán que llevar a cabo los protocolos de actuación que mejor se adapten a cada circunstancia.

El protocolo de actuación seguido en este simulador clínico web ante estos casos clínicos, implica tratar al paciente a través de una batería de acciones que se seleccionarán de entre las opciones que ofrece el simulador. Como ya se ha comentado, las acciones están agrupadas en seis categorías en el entorno prehospitalario y en siete en el entorno hospitalario. Dentro de cada categoría, al acceder a ella aparecen varias acciones y estas serán diferentes en función de si el trauma se trata en un entorno hospitalario o en un entorno extrahospitalario. El objetivo es que, a través de la batería de acciones de la interfaz, los profesionales clínicos puedan llevar a cabo el protocolo ABCDE con el fin de estabilizar al paciente. A continuación se exponen las acciones implementadas que componen cada categoría y que se presentan en el simulador en función del entorno en el que se atiende al paciente, entorno clínico hospitalario o prehospitalario.

- **Anamnesis**

La Anamnesis hace referencia a la recopilación de los datos clínicos del paciente por parte del especialista con el fin de elaborar una historia clínica. La información obtenida mediante la anamnesis brinda datos muy relevantes para que el profesional pueda establecer un diagnóstico lo más acertado posible y un tratamiento a seguir. Al paciente se le formulan una serie de preguntas relacionadas con sus datos personales, sus antecedentes clínicos e información sobre el accidente.

Para la implementación de la categoría de anamnesis se han utilizado las preguntas que se recogen en la Tabla 4.5, y tal y como puede observarse, estas preguntas se han incorporado tanto en el entorno hospitalario (H) como en el prehospitalario (PH). Las respuestas a estas preguntas varían en función de los cuatro casos clínicos implementados y han sido incluidas en el Apéndice D.

Categoría	Pregunta	Hospitalario(H)/PreHospitalario(PH)
	¿Cómo te llamas?	H y PH
	¿Qué edad tienes?	H y PH
	¿Tienes alguna alergia?	H y PH
	¿Tienes alguna enfermedad importante?	H y PH
	¿Tomas alguna medicación?	H y PH
Anamnesis	¿Sabes dónde estás?	H y PH
	¿Sabes qué ha pasado?	H y PH
	¿Dónde te duele?	H y PH
	¿Te cuesta respirar?	H y PH
	¿Puedes mover las piernas y los brazos?	H y PH
	¿Sientes cómo te toco?	H y PH

Tabla 4.5: Acciones implementadas en la categoría de Anamnesis.

En el resto de categorías que se describen a continuación, se va a detallar de cada acción, si está implementada en el entorno clínico hospitalario y/o prehospitalario. Adicionalmente, las acciones pueden ser temporales, cuando la acción termina al realizar la técnica u acción correspondiente, o permanentes, cuando la acción se mantiene durante todo el desarrollo de la simulación. También es importante tener en cuenta, el tiempo de latencia, definido como el tiempo que transcurre desde que se selecciona la acción hasta que tiene efecto en el paciente. Todos estos parámetros se tendrán en cuenta posteriormente para determinar el impacto que tienen las diferentes acciones en las constantes vitales del paciente.

- **Vía aérea y ventilación:**

Esta categoría incluye aquellas acciones que permiten asegurar tanto la permeabilidad de la vía aérea del paciente como su correcta ventilación. Para el manejo de la vía aérea, se realizan acciones como por ejemplo la intubación orotraqueal (IOT), tal y como se ve en la Tabla 4.6. En cuanto a la ventilación, se pueden utilizar diferentes técnicas de administración de oxígeno mediante gafas nasales, mascarilla reservorio o bolsa autoinflable. De las acciones recogidas en la Tabla 4.6, las únicas acciones temporales (T) son la auscultación y el aspirador, las cuales dejan de aplicarse cuando se termina de realizar la acción. En el caso de las acciones de oxigenoterapia con gafas nasales y con mascarilla reservorio, son técnicas permanentes (P) hasta que sean sustituidas por otro dispositivo. Esto ha sido marcado con un asterisco en la tabla para diferenciarlas del resto de acciones. El tiempo de latencia es variable en cada una de ellas, siendo inmediato en el caso de la auscultación. Todas estas acciones han sido implementadas tanto en entorno hospitalario (H) como prehospitalario (PH).

Categoría	Técnica	(H)/(PH)	(T)/(P)	Latencia	Duración
Vía Aérea y ventilación	Auscultación	H y PH	T	Inmediata	20s
	Pulsioxímetro	H y PH	P	4s	Permanente
	Aspirador	H y PH	T	10s	5s
	Cánula orofaríngea	H y PH	P	7s	Permanente
	Oxigenoterapia con gafas nasales	H y PH	P	10s	Permanente*
	Oxigenoterapia con mascarilla con reservorio	H y PH	P	10s	Permanente*
	Intubación orotraqueal (IOT)	H y PH	P	45s	Permanente
	Ventilación con bolsa autoinflable	H y PH	P	10s	Permanente
	Capnógrafo	H y PH	P	10s	Permanente
	Apósito oclusivo	H y PH	P	5s	Permanente
	Toracocentesis con aguja	H y PH	P	15s	Permanente
	Drenaje torácico	H y PH	P	35s	Permanente
Conexión a ventilación mecánica	H y PH	P	20s	Permanente	

Tabla 4.6: Acciones implementadas en la categoría de vía aérea y ventilación

- **Circulación/ Hemorragias externas**

La categoría de circulación y hemorragias externas está formada por acciones destinadas a controlar la hemorragia y a monitorizar las constantes vitales del paciente. Además, tal y como se ve en la Tabla 4.7, se pueden coger vías venosas periféricas, como la canalización VVP para la administración de suero fisiológico. Todas las acciones son permanentes a excepción del ECG de 12 derivaciones cuya duración es de 5s. La acción de pani digital va a mostrar la última tensión arterial medida. Del mismo modo que el caso anterior, todas estas acciones han sido implementadas en el entorno hospitalario y prehospitalario.

Categoría	Técnica	(H)/(PH)	(T)/(P)	Latencia	Duración
Circulación	Torniquete	H y PH	P	15s	Permanente
	Aplicación presión directa	H y PH	P	Inmediata	Permanente
	Aplicación agente hemostático	H y PH	P	10s	Permanente
	Canalización VVP	H y PH	P	30s	Permanente
	Canalización IO	H y PH	P	30s	Permanente
	PANI digital	H y PH	P	30s	Última TA
	Monitorización 4 parches	H y PH	P	30s	Permanente
	ECG 12 derivaciones	H y PH	T	50s	5s

Tabla 4.7: Acciones implementadas en la categoría de Circulación/Hemorragias Externas

- **Exposición/ otros**

Esta categoría incluye cuatro acciones, tal y como puede verse en la Tabla 4.8. Se podrá, por ejemplo, desnudar al paciente para poder evaluarlo correctamente y cubrirle con mantas térmicas para prevenir la hipotermia. Todas las acciones son permanentes, y excepto el sondaje vesical y el sondaje gasogástrico que tienen una duración de 60s. Al igual que en las categorías anteriores, todas estas acciones han sido implementadas para el entorno hospitalario y prehospitalario.

Categoría	Técnica	(H)/(PH)	(T)/(P)	Latencia	Duración
Exposición	Retirada de ropa	H y PH	P	50s	Permanente
	Manta térmica	H y PH	P	Inmediata	Permanente
	Sondaje vesical	H y PH	P	60s	60s
	Sondaje nasogástrico	H y PH	P	60s	60s

Tabla 4.8: Acciones implementadas en la categoría de Exposición/Otros

- **Fármacos y fluidoterapia**

Mediante esta categoría se le pueden administrar al paciente los fármacos necesarios para conseguir su estabilización. Tal y como se puede ver en la Tabla 4.9, los tiempos de latencia de cada una de estas acciones varían entre 20s y 45s. Son todas técnicas temporales a excepción de la noradrenalina, el SSF de 500ml, el SG 5% y el protocolo de transfusión masiva. Del mismo modo que en las categorías anteriores, todas estas acciones han sido implementadas para el entorno hospitalario y prehospitalario.

Categoría	Técnica	(H)/(PH)	(T)/(P)	Latencia	Duración
Fármacos	SIR	H y PH	T	30s	1 min
	Fentanilo 50 mcg IV	H y PH	T	20s	Acción única
	Midazolam 2 mg IV	H y PH	T	20s	Acción única
	Ácido tranexámico 1g IV	H y PH	T	30s	10 min
	Noradrenalina IV	H y PH	P	45s	Permanente
	SSF 20 ml/Kg en 10 minutos	H y PH	T	20s	10 min
	SSF 500 ml mantenimiento	H y PH	P	20s	Permanente
	SG 5% mantenimiento	H y PH	P	20s	Permanente
	Protocolo de transfusión masiva	H y PH	P	20s	Permanente
	Voluvén 250 ml IV	H y PH	T	20s	10 min

Tabla 4.9: Acciones implementadas en la categoría de fármacos y fluidoterapia

- **Pruebas complementarias**

Esta categoría incluye las pruebas diagnósticas que se pueden realizar a un paciente cuando se le está tratando lesiones por trauma pélvico grave. El resultado de estas pruebas se mostrará en la interfaz durante el desarrollo de la simulación. Como se puede ver en la Tabla 4.10, se ha incluido aquí, la solicitud de interconsultas a otras especialidades en el caso de que el paciente tenga que ser derivado a otra especialidad. Es importante destacar que, cuando se seleccione esta acción, la simulación finaliza ya que al requerir intervención por parte de otras áreas hospitalarias el caso clínico se da por terminado. También se incluye dentro de esta categoría, la realización de una radiografía de pelvis. El resultado de esta prueba será distinto en cada uno de los cuatro escenarios clínicos puesto que nos encontramos frente a pacientes diferentes y a roturas de pelvis diferentes también. Ambas son acciones son permanentes y con latencia inmediata. Como ya se ha mencionado, esta categoría solo formará parte de los casos clínicos que simulen un entorno hospitalario.

Categoría	Técnica	(H)/(PH)	(T)/(P)	Latencia	Duración
Pruebas Complementarias	RX de pelvis	H	P	Inmediata	10 min
	Solicitud de interconsultas a otras especialidades	H	P	Inmediata	Permanente

Tabla 4.10: Acciones implementadas en la categoría de pruebas complementarias

• Inmovilización

Para la inmovilización del paciente, se pueden llevar a cabo acciones como la colocación de un cinturón pélvico para fijar la pelvis o la del collarín cervical para controlar el movimiento de la columna cervical. Tal y como se puede ver en la Tabla 4.11, las acciones de colchón de vacío, férula de vacío y cinturón pélvico solo formarán parte de los casos clínicos que tienen lugar en entornos prehospitalarios puesto que se trata de dispositivos que no se tienen en las urgencias hospitalarias. El control cervical manual es permanente hasta que se deja de hacer para colocar el collarín cervical. El cinturón pélvico, al igual que el collarín cervical, serán permanentes hasta que se quiten.

Categoría	Técnica	(H)/(PH)	(T)/(P)	Latencia	Duración
Inmovilización	Colchón de vacío	P	P	10s	40s
	Férula de vacío	P	P	10s	60s
	Cinturón pélvico	P	P	50s	Permanente
	Colocación collarín cervical	H y PH	P	40s	Permanente
	Control cervical manual	H y PH	P	Inmediata	Permanente

Tabla 4.11: Acciones implementadas en la categoría de inmovilización

4.2.1. Impacto de las acciones en las constantes vitales

Una vez definidas todas las acciones que se pueden llevar a cabo para estabilizar a un paciente que sufre un trauma pélvico, es necesario determinar cuáles impactan en las constantes vitales del paciente y cómo se modifican dichas constantes. Existen por un lado, acciones que impactan en las constantes vitales y por otro lado, acciones que no impactan en las constantes vitales. En la Tabla 4.12 se recogen las acciones que sí tienen consecuencias en las constantes vitales del paciente. Estas acciones impactan de manera diferente en las constantes vitales, por lo tanto, se pueden distinguir 5 tipos de acciones:

- **Acciones Tipo 1:** suben o bajan el valor de la constante vital (puntos/minuto) en una duración determinada volviendo posteriormente a la curva de evolución natural del paciente.
- **Acciones Tipo 2:** Suben o bajan el valor de la constante vital a la que impactan hasta un valor concreto en una duración determinada (puntos/minutos) y, tras esa variación, se mantiene constante.

- **Acciones Tipo 3:** Se mantiene el valor de la constante vital a la que impacta la acción durante una duración determinada y después se modifica su valor [puntos/min] hasta el final.
- **Acciones Tipo 4:** Acelera o ralentiza la subida o bajada de una constante vital a la que afecta la acción.
- **Acciones Tipo 5:** suben o bajan el valor de la constante vital a la que impactan (puntos/minuto) en una duración determinada y, transcurrido ese tiempo, el valor de la constante vital afectada en ese instante se mantendrá constante hasta el final de la simulación.

En la primera columna de la Tabla 4.12 se pueden encontrar el nombre de las diferentes técnicas. A continuación, en la segunda columna se detalla a qué tipo de los explicados anteriormente pertenecen cada una de las técnicas. En la tercera columna se representa la constante vital a la que afectan estos tipos de acciones. La constante vital afectada puede ser: la saturación de oxígeno, la frecuencia respiratoria, la presión diastólica y la presión sistólica. Posteriormente se observa la variación, en puntos por minuto, de la constante vital afectada por la correspondiente técnica aplicada, así como la duración de esta variación. En la última columna, se indica la latencia de cada acción con el fin de determinar cuando la acción comienza a tener efectos en el maniquí virtual.

Técnica	Tipo	Constante vital	Valor [Puntos/min]	Tiempo [s]	Latencia [s]
Oxigenoterapia con gafas nasales	1	Frecuencia respiratoria	-1,5	120	10
	5	Saturación	2,5	120	10
Oxigenoterapia con mascarilla reservorio	1	Frecuencia respiratoria	-10	30	10
	2	Saturación	96	30	10
SSF 20ml/Kg en 10 min	1	Presión diastólica	0,25	1200	20
	1	Presión sistólica	0,65	1200	20
Procolo de transfusión masiva	1	Presión diastólica	1,6	300	20
	1	Presión sistólica	3	300	20
Voluven 250ml IV	1	Presión diastólica	0,7693	780	20
	1	Presión sistólica	1,1539	780	20
Aspirador	1	Saturación	120	0	10
Midazolam 2mg IV	1	Saturación	-3	60	20
Conexión a ventilación mecánica	2	Frecuencia respiratoria	12	30	20
	2	Saturación	100	30	20
Noradrenalina IV	2	Presión diastólica	65	20	45
	2	Presión sistólica	110	20	45
Ventilación con bolsa autoinflable	2	saturation	100	40	10
Torniquete	3	Presión diastólica	-0,8	300	15
	3	Presión sistólica	-0,8	300	15
Aplicación Presión directa	3	Presión diastólica	-0,8	180	0
	3	Presión sistólica	-0,8	180	0
Aplicación agente hemostático	3	Presión diastólica	-0,8	180	10
	3	Presión sistólica	-0,8	180	10
Cinturón Pélvico	4	Presión diastólica	0,5	0	50
	4	Presión sistólica	0,5	0	50

Tabla 4.12: Acciones con impacto en las contantes vitales del paciente virtual

Capítulo 5

Validación Clínica y Resultados

En este Capítulo se presenta el proceso de validación clínica que ha seguido el simulador web interactivo y los resultados obtenidos tras su validación. Para ello, se ha realizado un análisis de los datos de las simulaciones llevadas a cabo por el personal clínico, obteniendo conclusiones sobre el aprendizaje de los usuarios. Además, también se presentan los resultados del cuestionario de usabilidad, que fue respondido tras finalizar el proceso de validación clínica, por cada uno de los participantes.

5.1. Validación Clínica

Tras establecer los distintos escenarios de trauma con sus respectivos casos clínicos, el simulador se va someter a un proceso de validación clínica, donde el personal clínico, va a entrenar con el mismo. Para ello, antes de llevar a cabo las pruebas, se han diseñado e implementado dos módulos, uno de entrenamiento y otro de examen. A cada módulo se le ha asignado un caso clínico de los explicados en la primera sección de este Capítulo. Estos módulos se presentan a continuación:

- **Módulo de Entrenamiento**

El módulo de entrenamiento permite repetir las simulaciones, dando la oportunidad a los profesionales médicos de practicar los distintos casos clínicos las veces que se crea conveniente. El módulo de entrenamiento va a incluir seis escenarios diferentes, estos escenarios se corresponden con los casos clínicos dos, tres y cuatro anteriormente descritos y cada uno de ellos aparecerá dos veces puesto que se da la opción de entrenar la atención al paciente en el entorno hospitalario y en el extra hospitalario.

- **Módulo de Examen**

Este módulo permite incluir un caso clínico sobre el que se requiere hacer una evaluación. Gracias a él, se evalúa a los usuarios simulando un caso real de un paciente. En este módulo se ha incluido el caso clínico uno anteriormente descrito. Del mismo modo que en el módulo de entrenamiento, este caso clínico se podrá realizar tanto en el entorno hospitalario como en el prehospitalario.

Adicionalmente, el simulador permite que los usuarios se registren como profesionales médicos instructores, si van a ser los responsables de crear los diferentes casos

clínicos, o como estudiantes, si van a enfrentarse a uno de los diferentes casos clínicos que se han creado. Sin embargo, para realizar este proceso de validación clínica, se ha bloqueado el registro de los profesionales docentes, ya que en este caso, los casos clínicos ya han sido incluidos en el simulador y asignados a cada estudiante mediante los módulos de entrenamiento y examen.

Finalmente, el simulador ha sido desplegado en un servidor de forma que multitud de usuarios puedan acceder a realizar simulaciones al mismo tiempo. Estos usuarios son estudiantes de sexto de medicina, médicos intensivistas y de urgencias, pertenecientes a diferentes hospitales.

5.2. Resultados de Validación Clínica

Tras el proceso de validación clínica, los datos de las simulaciones llevadas a cabo por el personal clínico durante dos semanas, quedan almacenados en la base de datos de la aplicación. A partir de estos datos, se va a proceder a realizar un análisis para poder ver si los protocolos de actuación ante los casos clínicos implementados se están llevando a cabo de una manera adecuada y si esto mejora tras el entrenamiento con el simulador. Además, se analizará si hay diferencias significativas entre el aprendizaje adquirido por los médicos residentes y por los estudiantes.

El proceso seguido para la obtención de los resultados tras la validación clínica se ha estructurado de la siguiente manera:

- **1. Procesamiento de los datos**

La base de datos relacional de la aplicación contiene cinco tablas que presentan relación unas con otras, y gracias a ello, se van a poder extraer los datos de las simulaciones pertenecientes a cada uno de los usuarios. A través de diferentes consultas SQL a la base de datos, se obtienen los datos de las diferentes tablas, relevantes para hacer el análisis. Estos datos se exportan en formato csv al servidor y posteriormente se extraen del servidor para pasarlos al ordenador local y poder manipularlos.

- **2. Tratamiento de los datos**

Tras obtener toda la información de interés en formato csv, se procede a su tratamiento mediante la librería Pandas de Python. En primer lugar, los datos en formato csv se leen y se hacen conexiones entre columnas para obtener en una misma tabla toda la información. Posteriormente, se hace una limpieza de los datos, para ello se eliminan a algunos de los usuarios que probaron el simulador, antes de enviarlo para realizar las pruebas con el personal clínico, con el fin de comprobar que estaba todo correcto para estas pruebas. También se realiza un agrupamiento de los datos por apellido para que aparezcan todas las simulaciones pertenecientes a un mismo usuario de manera seguida. Y finalmente, se eliminan los duplicados, para que en una misma simulación se agrupen todas las acciones que ha realizado un usuario.

- **3. Análisis de los parámetros obtenidos**

Los usuarios acceden al simulador e inicialmente llevan a cabo las simulaciones del módulo de examen. Estas simulaciones se componen de un examen en el entorno hospitalario y otro examen en el entorno prehospitalario. Posteriormente, realizan entrenamientos durante un periodo de dos semanas. Tras finalizar los entrenamientos, vuelven a realizar el examen inicial tanto en el entorno hospitalario como en el prehospitalario. De esta manera, se han analizado los datos almacenados de las simulaciones del examen antes y después del entrenamiento, de 28 usuarios. Con esto se pretende determinar si se ha llevado a cabo una mejor actuación en el examen después del entrenamiento y si hay diferencia significativa entre el aprendizaje de los médicos residentes y de los estudiantes. Para llevar a cabo el análisis, se va a comenzar analizando cinco acciones de las disponibles en la batería de acciones del simulador interactivo. Así pues, las acciones analizadas en el primer y segundo examen tanto en el entorno hospitalario como en el prehospitalario han sido la auscultación, la monitorización 4 parches, el pulsioxímetro, la canalización VVP y el pani digital. Estas acciones deben de haberse realizado en los primeros cuatro minutos por lo tanto los resultados obtenidos se presentan mediante gráficos boxplot que muestran las acciones en función del tiempo.

A continuación se presentan los resultados obtenidos tras realizar el análisis:

- **Auscultación**

Si se analiza el examen inicial prehospitalario tanto los residentes como los estudiantes han realizado la auscultación en los primeros 25 minutos tal y como se puede ver en la Figura 5.1 (a), no habiendo diferencia significativa entre la actuación de los dos grupos. Sin embargo, si se analiza el segundo examen, es decir, el realizado tras los entrenamientos, se puede observar, en la Figura 5.1 (b), que todos los médicos residentes han mejorado su actuación ya que han realizado la auscultación en los primeros cuatro minutos. En este caso se ve una clara diferencia en la actuación entre estudiantes de medicina y residentes mostrando significación. Esto es indicativo de que los entrenamientos son útiles para mejorar la actuación de los clínicos. En el caso de los estudiantes, se observa que han empeorado sus tiempos de actuación puesto que presentan una mediana mayor con respecto al primer examen. Por lo tanto, no realizan correctamente la auscultación en los primeros cuatro minutos.

En el caso del examen realizado en el entorno hospitalario tanto residentes como estudiantes han llevado a cabo la auscultación de manera correcta en los primeros cuatro minutos, tal y como se puede ver en la Figura 5.1 (c), aún así se ve una diferencia significativa entre la actuación de médicos y de estudiantes, haciendo los médicos la auscultación mucho antes que los estudiantes. Sin embargo, en el segundo examen, Figura 5.1 (d), los alumnos han realizado peor esta técnica ya que han incrementado sus tiempos de actuación, por el contrario, los médicos, han seguido realizando esta acción en el tiempo adecuado.

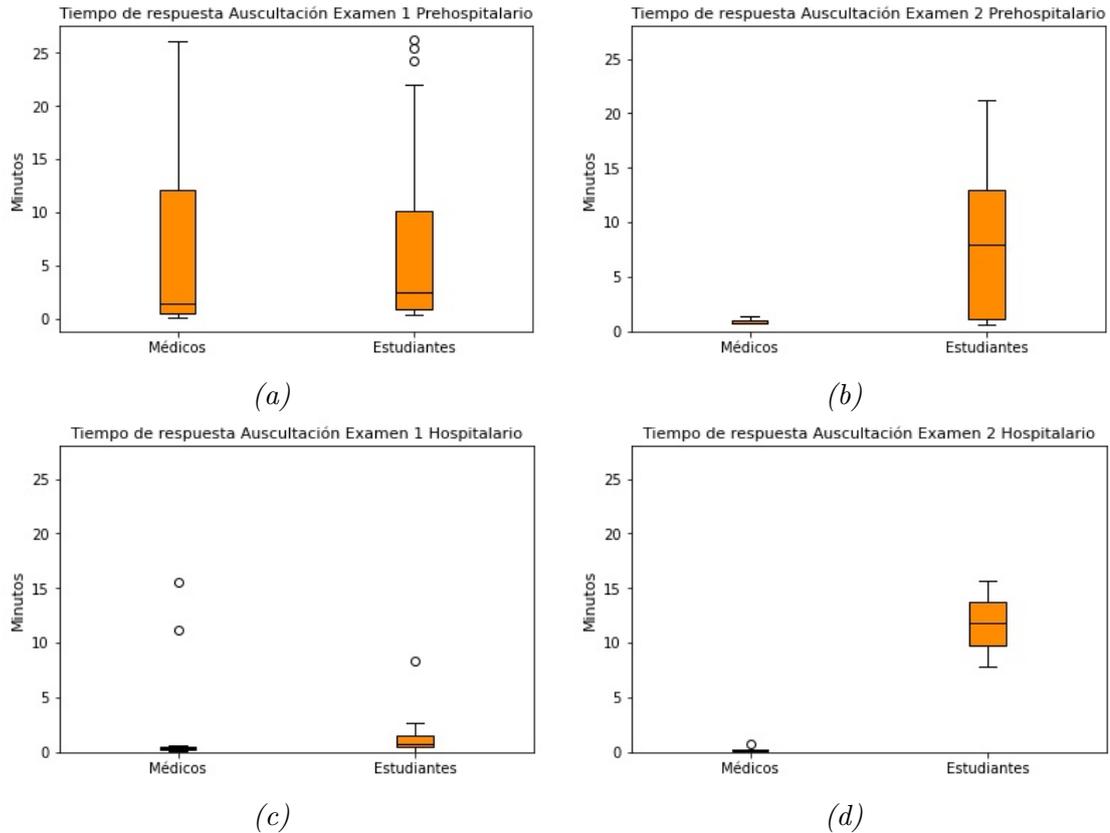


Figura 5.1: Tiempo de respuesta en Auscultación. (a) Examen 1, Prehospitalario (b) Examen 2, Prehospitalario (c) Examen 1, Hospitalario (d) Examen 2, Hospitalario

• Monitorización 4 parches

En el examen inicial prehospitalario, residentes y estudiantes actúan estadísticamente diferente. Todos los residentes realizan la monitorización de cuatro parches en los primeros cuatro minutos a excepción de uno, mientras que la mayoría de los estudiantes la realizan entre el minuto 0 y el 15, tal y como se puede ver en la Figura 5.2 (a). En el segundo examen, solamente un residente ha realizado la monitorización por lo que aparece una mediana de valor dos, tal y como se puede ver en la Figura 5.2 (b). En el caso de los estudiantes, han mejorado su actuación con respecto al primer examen, ya que todos ellos realizan la monitorización en los primeros cuatro minutos.

En el examen inicial hospitalario los residentes han actuado estadísticamente diferente a los estudiantes ya que estos no han realizado la monitorización en menos de cuatro minutos mientras que los residentes sí, tal y como se puede ver en la Figura 5.2 (c). Al realizar el segundo examen, los residentes mantienen la actuación de manera correcta puesto que realizan la monitorización en los primeros cuatro minutos. Además, algunos de los estudiantes disminuyen sus tiempos de actuación ya que en este caso el tiempo se sitúa entre seis y ocho, tal y como se puede ver en la Figura 5.2 (d), y no llega hasta doce como en el primer examen. Sin embargo, no realizan la monitorización en los primeros cuatro minutos.

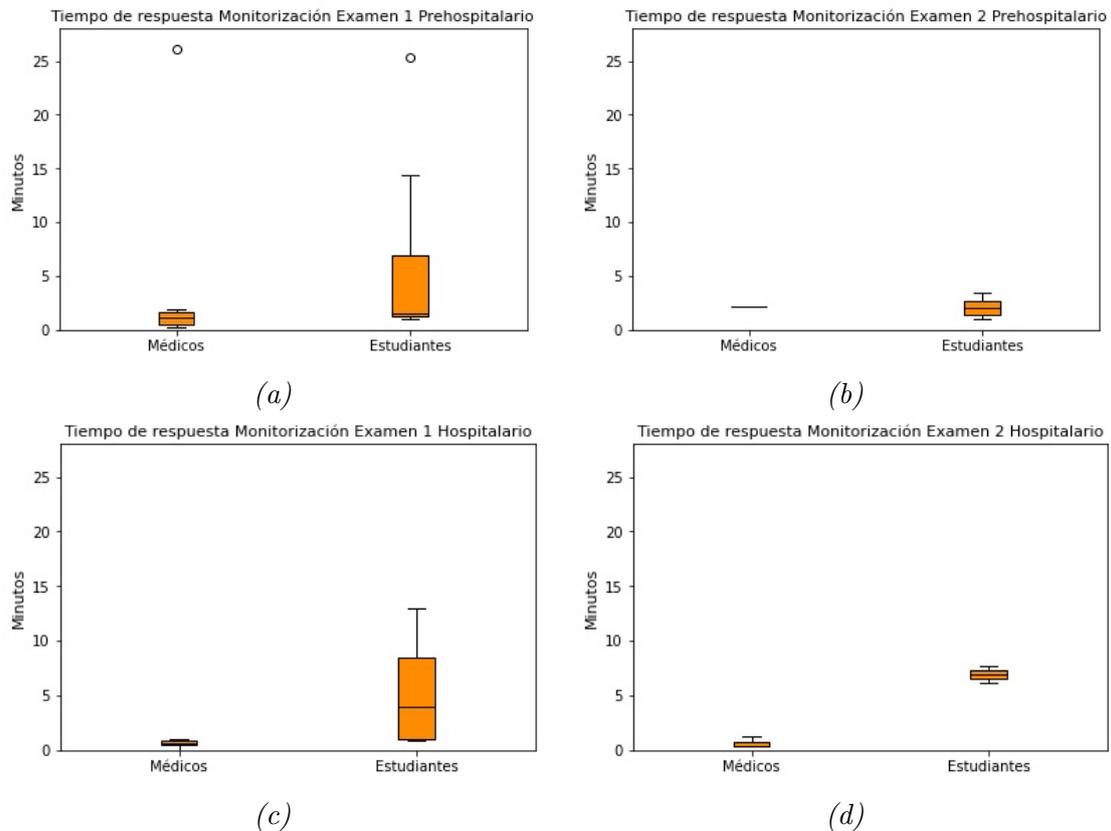


Figura 5.2: Tiempo de respuesta en Monitorización 4 parches. (a) Examen 1, Prehospitalario (b) Examen 2, Prehospitalario (c) Examen 1, Hospitalario (d) Examen 2, Hospitalario

• Pulsioxímetro

En el caso prehospitalario se ve una mejora significativa en el segundo examen, en comparación con el primero, que se puede ver en la Figura 5.3 (a) ya que tanto estudiantes como residentes han disminuido sus tiempos de actuación, tal y como puede observarse en la Figura 5.3 (b) . Sin embargo, en el segundo examen hay una diferencia significativa entre la actuación de los residentes y los estudiantes ya que en estos últimos no se cumple la realización del pulsioxímetro en los primeros cuatro minutos y en los residentes sí.

Tal y como se puede observar en la Figura 5.3 (c) y en la Figura 5.3 (d), en ambos exámenes residentes y estudiantes actúan de manera diferente. En el primer examen, ambos actúan de manera correcta ya que realizan la acción del pulsioxímetro en los primeros cuatro minutos. Sin embargo, en el segundo examen los estudiantes han incrementado sus tiempos de actuación y por el contrario, los residentes mantienen su actuación de manera correcta.

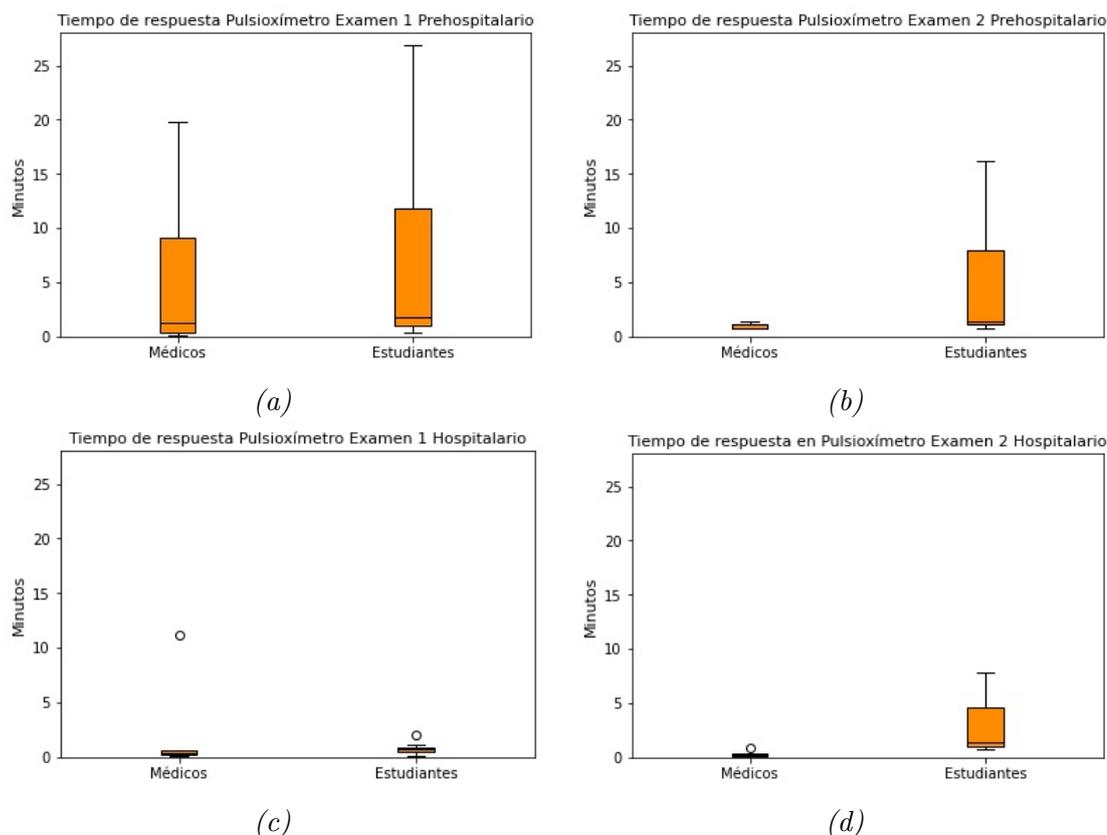


Figura 5.3: Tiempo de respuesta en Pulsioxímetro. (a) Examen 1, Prehospitalario (b) Examen 2, Prehospitalario (c) Examen 1, Hospitalario (d) Examen 2, Hospitalario

• Canalización VVP

En el examen prehospitalario se nota una mejora significativa del primer al segundo examen ya que como se puede observar en la Figura 5.4 (b) tanto los residentes como lo estudiantes realizan la canalización VVP en los primeros cuatro minutos en el segundo examen; sin embargo, en el primer examen no han actuado así, como se puede ver en la Figura 5.4 (a).

En el caso del primer examen del entorno hospitalario, estudiantes y residentes han realizado la canalización en tiempos adecuados, tal y como se puede ver en la Figura 5.4 (c). Sin embargo en el segundo examen, algunos estudiantes la han realizado por encima de los cuatro minutos llegando al minuto seis tal y como se puede ver en la Figura 5.4 (d) .

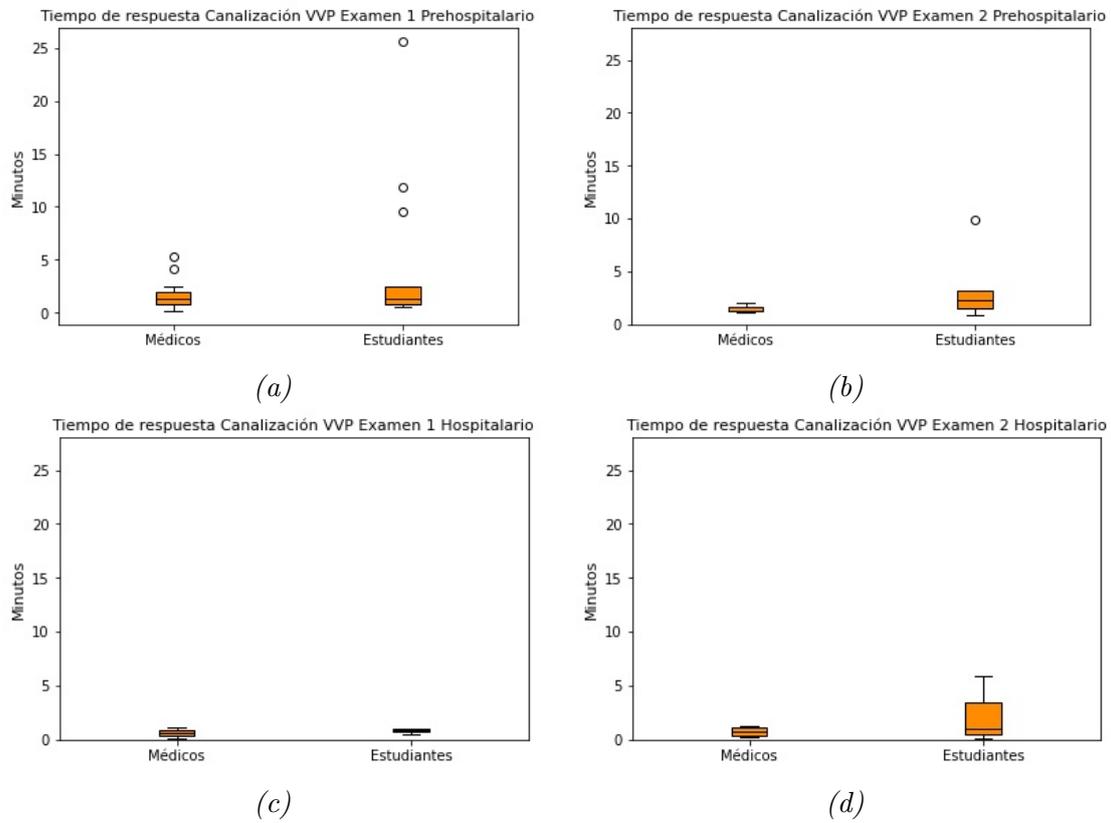


Figura 5.4: Tiempo de respuesta en Canalización VVP. (a) Examen 1, Prehospitalario (b) Examen 2, Prehospitalario (c) Examen 1, Hospitalario (d) Examen 2, Hospitalario

• Pani Digital

En el primer examen prehospitalario, los médicos residentes realizan la acción de Pani digital por debajo de los cuatro minutos sin embargo, los estudiantes no la realizan en el tiempo adecuado, tal y como puede verse en la Figura 5.5 (a); sin embargo, en el segundo examen, los estudiantes mejoran sus tiempos de actuación ya que realizan la acción por debajo de los cuatro minutos, tal y como se observa en la Figura 5.5 (b). En este segundo examen, la mayor parte de los médicos no han realizado la acción de pani digital a excepción de uno, obteniéndose un valor de mediana cercano a dos.

Se puede observar en el Figura 5.5 (c), que solo un estudiante, en el primer examen hospitalario, ha realizado la acción de pani con valor de mediana igual a uno mientras que todos los residentes sí la han realizado y en el tiempo adecuado. En el segundo examen hospitalario los estudiantes sí que han realizado la acción reflejando una mejora significativa respecto al primer examen como se observa en la Figura 5.5 (d). Los residentes siguen realizando esta acción en el segundo examen de manera correcta.

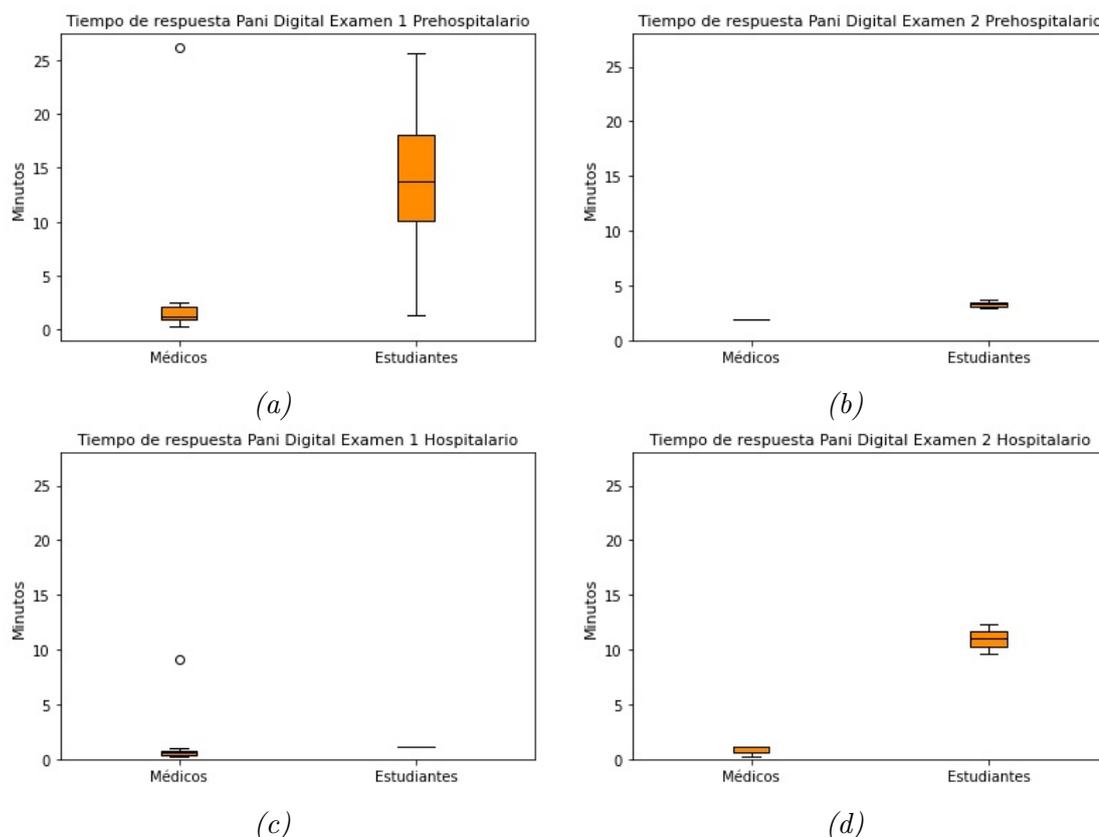


Figura 5.5: Tiempo de respuesta en Pani Digital. (a) Examen 1, Prehospitalario (b) Examen 2, Prehospitalario (c) Examen 1, Hospitalario (d) Examen 2, Hospitalario

Como conclusión final de este estudio, se establece que en general hay diferencia estadística entre la actuación de residentes y estudiantes, demostrando mejores actuaciones por parte de los residentes. Además, se ha podido comprobar que tras realizar los entrenamientos, en algunos casos, sí hay una mejora notable en los protocolos de actuación en el segundo examen ya que se cumplen los tiempos de actuación correctos, hecho que no suele pasar en el primer examen, especialmente en el caso de los estudiantes. Así pues, se demuestra que esta herramienta puede mejorar el aprendizaje de los protocolos de actuación frente a la enfermedad traumática grave.

Adicionalmente, se ha realizado otro estudio presentado en el Anexo C donde se han analizado todas las simulaciones realizadas por los usuarios, no solo las del módulo de examen como en el caso anterior, sino también las del módulo de entrenamiento.

5.3. Resultados de Usabilidad

Cuando los usuarios terminan de realizar las simulaciones correspondientes, tienen que responder a un cuestionario de usabilidad donde se evalúa si la herramienta desarrollada les ha parecido eficaz para el entrenamiento en el manejo de la enfermedad traumática grave. Estas preguntas pueden ser respondidas con una puntuación del 1 al 7, siendo 1, la menor puntuación, y 7, la mayor.

Este cuestionario consta de tres secciones. En la primera sección, se pide al usuario que introduzca el nombre, los apellidos y la profesión, donde se indicará si es estudiante de sexto de medicina, residente o doctor. En la segunda sección, se realizan preguntas relacionadas con la simulaciones como, por ejemplo, si consideran que la herramienta es útil para el aprendizaje, si creen que esta herramienta ayuda al razonamiento crítico y a la toma de decisiones o si creen que se podría aplicar la herramienta en su servicio/universidad. Finalmente, en la tercera sección, las preguntas están relacionadas con la usabilidad del simulador, con preguntas como por ejemplo, si la información aportada por el simulador es clara, si es fácil de usar o si el simulador tiene todas las funcionalidades que se espera tener. Tras analizar las respuestas de los usuarios entre las preguntas realizadas, cuyos resultados principales se pueden ver en el Anexo H, se obtienen resultados relevantes en:

- La mayor parte de los usuarios han respondido que les ha parecido una herramienta útil para el entrenamiento.
- Todos los usuarios han respondido que sí a que los elementos que aparecen en la pantalla son adecuados. Por lo tanto, la organización de las acciones en la interfaz es, en un principio, correcta.
- La mayoría ha respondido que sí a la pregunta de si aparecen en la interfaz todos los parámetros de monitorización necesarios para un tratamiento de un paciente de trauma pélvico, dando la máxima puntuación.
- A la pregunta de si la interfaz gráfica es amigable, todos han dado una puntuación de siete a excepción de un usuario que ha aportado una puntuación de cinco, pero en general se puede concluir que la interfaz es agradable para realizar las simulaciones.

También se han pedido posibles comentarios que ayuden a la mejora y avance de esta herramienta. Por ejemplo, cuando el paciente fallece durante el desarrollo de la simulación no se detalla el motivo. El docente a través del informe que se puede descargar tras finalizar la simulación podrá evaluar que es lo que se ha realizado de manera errónea y ha acarreado la muerte del paciente para posteriormente comentárselo al alumno, sin embargo un feedback aportado en el momento que detalle que es lo que el usuario ha hecho mal, puede ser una buena forma de mejorar la presente herramineta.

Capítulo 6

Conclusiones y Líneas Futuras

6.1. Conclusiones

El objetivo principal definido para este Trabajo Fin de Grado ha sido el desarrollo e implementación de un simulador web interactivo que permita generar diferentes escenarios de trauma para que los clínicos puedan entrenar los protocolos de actuación frente a lesiones traumáticas graves. Se ha comenzado incorporando en el simulador cuatro casos clínicos de traumatismo pélvico tanto en entornos hospitalarios como prehospitalarios con todas las técnicas y tratamientos necesarios para tratar este tipo de traumatismo. Las actuaciones de los clínicos van a tener consecuencias en las constantes vitales del paciente virtual.

Posteriormente, el simulador ha seguido un proceso de validación clínica por parte del personal clínico de diferentes hospitales. Para que este proceso de validación clínica se pudiese llevar a cabo, se han implementado un módulo de entrenamiento y un módulo de examen. En el módulo de entrenamiento los usuarios pueden entrenar repetidas veces las simulaciones y posteriormente evaluar lo que han aprendido con el módulo de examen. Finalmente, se ha hecho un estudio a partir de los datos recogidos del simulador tras realizar las simulaciones correspondientes durante el proceso de validación clínica. El objetivo ha sido determinar si la actuación de los usuarios es correcta y destacar posibles diferencias entre las actuaciones que llevan a cabo diferentes perfiles tales como los estudiantes de medicina y los médicos residentes.

Así pues, se ha conseguido que la herramienta desarrollada permita: generar diferentes escenarios de trauma, tratar al paciente virtual mediante las técnicas que se llevarían a cabo ante traumatismos pélvicos en la vida real, dotar de realismo al maniquí mediante el desarrollo de acciones que tengan impacto en las constantes vitales del mismo, clips de audio y dispositivos clínicos como la oxigenoterapia con bolsa autoinflable, desarrollar módulos de examen para evaluar a los usuarios y módulos de entrenamiento para que entrenen los protocolos de actuación correspondientes. Y finalmente, obtener conclusiones sobre el aprendizaje de los usuarios mediante un análisis de los datos de las simulaciones que realizan, almacenados en la base de datos de la aplicación.

Tras el análisis de los datos se puede concluir que existen diferencias significativas en la actuación de los residentes y los estudiantes de medicina. Adicionalmente, los entrenamientos permiten mejorar las actuaciones de los usuarios en la mayor parte de los casos.

6.2. Líneas futuras

Las líneas futuras de este Trabajo Fin de Grado se han establecido gracias a las respuestas del cuestionario de usabilidad. De esta manera, las mejoras que se presentan a continuación ayudarán a obtener una herramienta aún más eficaz y realista:

- Incorporar en el simulador casos clínicos de lesiones craneoencefálicas, torácicas, abdominales, y de extremidades así como técnicas y maniobras específicas para tratar estos tipos de traumatismos.
- Las respuestas de la anamnesis en cada caso clínico deben cambiar según avancen los tratamientos que se llevan a cabo en el maniquí virtual.
- Generar una realimentación automática una vez haya finalizado la simulación proporcionando al estudiante información sobre aquello que haya realizado de manera incorrecta durante la simulación. Por ejemplo, si el paciente acaba falleciendo, se informará al estudiante el motivo de la muerte.
- Diseñar un maniquí físico para que las técnicas y tratamientos que se realizan en la interfaz del simulador puedan practicarse de manera física consiguiendo un mayor realismo en el mismo.

Bibliografía

- [1] Centro Avanzado de Simulación y Entrenamiento Clínico (CEASEC). Plataforma de simulación. <https://docplayer.es/23432458-Centro-avanzado-de-simulacion-y-entrenamiento-clinico-ceasec-plataforma-de-simulacion.html>, 1993. [Accesed online] Last time 3/05/2021.
- [2] Ángel-Muller E. Guevara O. Ruíz-Parra A. La simulación clínica y el aprendizaje virtual. tecnologías complementarias para la educación médica. *Revista Médica de Chile*, 57(1):67–79, 2009.
- [3] Ximena Sáenz Luz María Gómez, Mauricio Calderón. Impacto y beneficio de la simulación clínica en el desarrollo de las competencias psicomotoras en anestesia. *Revista Colombiana de Anestesiología*, 36(2):93–107, 2008.
- [4] María Elena Alemán Vaquero Dunia Rueda García, María Elena Arcos Aldás. Simulación clínica, una herramienta eficaz para el aprendizaje en ciencias de la salud. *Revista publicando*, 4(13):225–243, 2017.
- [5] O. Pato López S. López Álvarez M. López Sánchez, L. Ramos López. La simulación clínica como herramienta de aprendizaje. *Cirugía Mayor Ambulatoria*, 18(1):25–29, 2013.
- [6] R.Montaña F.Utili E.Escudero C.Boza J.Varas J.Dagnino M.Corveto, M.P.Bravo. Simulación en educación médica:una sinopsis. *Revista Médica de Chile*, 141(10):70–79, 2013.
- [7] Jorge L. Palés Argullós y Carmen Gomar Sancho. El uso de las simulaciones en educación médica. *Teoría de la Educación, Educación y cultura en la Sociedad de la Información*, 11(2):147–169, 2010.
- [8] R. Neri-Vela. El origen del uso de simuladores en medicina. *Medigraphic*, 60(1):21–27, 2018.
- [9] Claudio Nazar J. y Rodrigo Montaña R. Leticia Clede B. Simulación en educación médica y anestesia. *Revista Chilena de Anestesia*, 41(1):46–52, 2012.
- [10] María del Carmen Casal Angulo. La simulación como metodología para el aprendizaje de habilidades no técnicas en enfermería. <https://core.ac.uk/download/pdf/71059825.pdf>, 2016. [Acceso online] Última vez 21/05/2021.

- [11] Dolly Georgina Céspedes Rodríguez. Diseño de manual de usuario para maniquí simulador aplicado a la enseñanza de ciencias médicas. <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/4805/PROYECTO%20INTEGRADOR%2008-04%20f.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, 2017. [Acceso online] Última vez 21/05/2021.
- [12] V R Taqueti J B Cooper. Una breve historia del desarrollo de simuladores de maniqués para la educación clínica y la formación. *Qual Saf Health Care*, 13(1):11–18, 2004.
- [13] Andrea Gerolami Adriana Bordogna, Raffo Escalante. Manual de simulación clínica de la slacip. <https://slacip.org/descargas/ManualdeSimulacionClinica-SLACIP.pdf>, 2017. [Acceso online] Última vez 21/05/2021.
- [14] Andrea Dávila Cervantes. Simulación en educación médica. *Elsevier*, 3(10):100–105, 2014.
- [15] Esther León-Castelao y José M. Maestre. Prebriefing en simulación clínica: análisis del concepto y terminología en castellano. *Elsevier*, 20(4):238–248, 2019.
- [16] Enfermero de Simulación. La simulación clínica no es un juego. parte ii. <https://enfermerodesimulacion.com/2020/06/21/lasimulacionnoesunjuegoparteii/>, 2020. [Acceso online] Última vez 21/05/2021.
- [17] Carmen Gomar Sancho Sergio Guinez-Molinos, Patricio Maragaño Lizama. Simulación clínica colaborativa para el desarrollo de competencias de trabajo en equipo en estudiantes de medicina. *Revista Médica de Chile*, 146(5):643–652, 2018.
- [18] Frank Lizaraso Caparó. Simuladores para la enseñanza de la medicina o simulación de la enseñanza. *Revista Horizonte Médico*, 12(1):6–7, 2012.
- [19] Abraham Velasco Martín. Simulación clínica y enfermería, creando un ambiente de simulación. <https://metodoinvestigacion.files.wordpress.com/2014/11/simulacion-clinica-y-enfermeria-creando-un-ambiente-de-simulacion-en-cantabria.pdf>, 2013. [Acceso online] Última vez 3/05/2021.
- [20] A. Castellanos Ortega A. Quesada Suescun, F.J. Burón Mediavilla. Formación en la asistencia al paciente crítico y politraumatizado: papel de la simulación clínica. *Medicina Intensiva*, 31(4):187–193, 2007.
- [21] G. Vázquez-Mata. Realidad virtual y simulación en el entrenamiento de los estudiantes de medicina. *Educación Médica*, 11(1):29–31, 2008.
- [22] Andrea Dávila Cervantes. Experiencia en el aprendizaje: la experiencia como fuente de aprendizaje y desarrollo. *Journal of Organizational Behavior*, 8(4):359–360, 1984.
- [23] Redacción ConSalud. La mortalidad por traumatismo grave aumenta un 15% en los últimos años. <https://www.consalud.es/pacientes/mortalidad-traumatismo-grave-aumenta-15-ultimos-anos70045102.html>, 2019. [Acceso online] Última vez 22/05/2021.

- [24] Jorge A. Neira Laura Bosque. La enfermedad trauma. *Medicina Intensiva*, 24(1):52–55, 2007.
- [25] Fundación Truma. Enfermedad trauma. <https://fundaciontrauma.org.ar/enfermedad-trauma.php>, 2020. [Acceso online] Última vez 22/05/2021.
- [26] Noceda Bermejo JJ Pérez Lahiguera FJ. Atención al trauma grave. <http://www.dep4.san.gva.es/contenidos/urg/reserv/archivos/protocolos/VIA%20POLITRAUMATISMO.pdf>, 2014. [Acceso online] Última vez 22/05/2021.
- [27] Salvi Prat Fabregat Carmen Medina Molina, Eva Balcells Martinez. Análisis de la mortalidad hospitalaria por trauma grave en cataluña (2014-2016). *Elsevier*, 2(4):61–68, 2019.
- [28] Instituto Nacional de Estadística. Defunciones según la causa de muerte. <https://www.ine.es/prensa/edcm2018.pdf>, 2019. [Acceso online] Última vez 22/05/2021.
- [29] Fundación Española para la Prevención del Suicidio. Observatorio del suicidio en españa 2018. <https://www.fsme.es/observatorio-del-suicidio-2018/>, 2018. [Acceso online] Última vez 20/06/2021.
- [30] L.Atutxa M.Zabarte y Grupo de Trabajo de Trauma y Neurointensivismo de SEMICYUC F.Alberdi, I.García. Epidemiología del trauma grave. *Elsevier Doyma*, 38(9):580–588, 2014.
- [31] Teresita Montero González. Traumatismos. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 41(1):1–3, 2012.
- [32] Arlines Alina Piña Tornés. Manejo del trauma craneoencefálico en la atención primaria en salud. *Médicas UIS*, 28(1):153–158, 2015.
- [33] Generación Elsevier. Escala de coma de glasgow: tipos de respuesta motora y su puntuación. <https://www.elsevier.com/es-es/connect/medicina/escala-de-coma-de-glasgow>, 2017. [Acceso online] Última vez 22/05/2021.
- [34] Isabel Lucía Martín Roldán. Actualización en el diagnóstico y tratamiento del traumatismo craneoencefálico. *NPunto*, 3(25):43–54, 2020.
- [35] María Del Carmen Choque Ontiveros Roberto Israel Caero Suarez Yercin Mamani Ortiz, Enrique Gonzalo Rojas Salazar. Características epidemiológicas del trauma abdominal en el hospital viedma, cochabamba, bolivia. *Gaceta Médica Boliviana*, 35(2):67–71, 2012.
- [36] Pilar Araujo Aguilar Inés Martínez Arroyo. Traumatismo abdominal grave: biomecánica de la lesión y manejo terapeutico. *NPunto*, 3(25):67–71, 2020.
- [37] Mariana Garzón Flórez Valentina Yepes Arango Laura Carmona Rave, Laura López Betancur. Manejo prehospitalario integral de la fractura de pelvis. <https://repository.ces.edu.co/bitstream/10946/3773/2/Manejo%20>

- OPrehopitalario %20Fractura %20P %C3 %A9lvis.pdf, 2018. [Acceso online] Última vez 22/05/2021.
- [38] MD Raymond D. Wright Jr. Fracturas de la pelvis, acetabulares y del sacro. https://acreditacion-fmc.org/AAOS/pdf/AAOS_cap36.pdf, 2014. [Acceso online] Última vez 22/05/2021.
- [39] SlideToDoc. Sistemas de clasificación que ayudan a predecir la inestabilidad. <https://slidetodoc.com/sistemas-de-clasificacin-ayudan-a-predecir-la-inestabilidad/>, 2017. [Acceso online] Última vez 22/05/2021.
- [40] David Dorado González. Manejo enfermero en paciente con traumatismo torácico. *NPunto*, 2(16):71–85, 2019.
- [41] Aymon. Traumatismo de extremidades. rabdomiolisis. síndrome compartimental. síndrome de embolia grasa. lesiones de partes blandas. vac. <https://eventos.aymon.es/wp-content/uploads/2012/10/12-TRAUMATISMO-EXTREMIDADES-GARCIA-FUENTES.pdf>, 2012. [Acceso online] Última vez 22/05/2021.
- [42] Sandra. Fracturas. <http://educacionfisica516.blogspot.com/2010/09/fracturas.html>, 2010. [Acceso online] Última vez 22/05/2021.
- [43] Juan Carlos González Luque María Arántzazu Menchaca Anduaga, Antonio Hernando Lorenzo. Módulo 4. el paciente traumatizado. <http://www.madrid.org/cs/Satellite>, 2012. [Acceso online] Última vez 22/05/2021.
- [44] Aymon. Protocolo atención inicial al trauma. <https://eventos.aymon.es/wp-content/uploads/2012/10/1-ABC-TRAUMA.pdf>, 2012. [Acceso online] Última vez 22/05/2021.
- [45] José María Jover. Atls: 25 años de experiencia. *NPunto*, 80(6):347–348, 2006.
- [46] M.^a Dolores Pérez Díaz José Ceballos Esparragón. *Cirugía del paciente politraumatizado*, volume 1 of 1. Arán, Castelló, 128, 1.^o 28006 Madrid, 2 edition, 2017.
- [47] Octavio García. Manejo inicial de paciente politraumatizado. <https://es.slideshare.net/OctavioGarcia48/manejo-inicial-de-paciente-politraumatizado>, 2017. [Acceso online] Última vez 22/05/2021.
- [48] Comité de trauma del colegio Americano de Cirujanos. Atls apoyo vital avanzado en truma para médicos. http://sagunto.san.gva.es/documents/7967159/8510141/ATLS/Apoyo_Vital_Avanzado_En_Trauma_Para_Mdicos.pdf, 2004. [Acceso online] Última vez 22/05/2021.
- [49] Víctor Yáñez Castillo. Evaluación primaria abcd del trauma. <http://www.medynet.com/usuarios/jraguilar/ABC%20DEL%20TRAUMA.pdf>, 2020. [Acceso online] Última vez 23/05/2021.

- [50] Sociedad Argentina de Terapia Intensiva. Atención inicial del paciente traumatizado en la etapa hospitalaria. <https://www.sati.org.ar/documents/Enfermeria/trauma/CECSATI-Atencioninicialdeltrauma.pdf>, 2016. [Acceso online] Última vez 23/05/2021.
- [51] Complejo Hospital Universitario de Toledo. Traumatismos en urgencias. <https://es.scribd.com/document/444203757/Traumatismos-en-Urgencias-pdf>, 2013. [Acceso online] Última vez 23/05/2021.
- [52] Rafa Ramos. ¿qué es javascript y para qué sirve? <https://soyrafaramos.com/que-es-javascript-para-que-sirve/>, 2010. [Acceso online] Última vez 4/06/2021.
- [53] School Everis. ¿qué es javascript? características y librerías. <https://www.everisschool.com/blog/que-es-javascript-caracteristicas-librerias/>, 2011. [Acceso online] Última vez 4/06/2021.
- [54] MDN Web. Conceptos básicos de html. <https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/Getting/started/width/the/web/HTMLbasics>, 2010. [Acceso online] Última vez 4/06/2021.
- [55] UM. Desarrollo de aplicaciones web. introducción general a html. <https://www.um.es/docencia/barzana/DAWEB/Introduccion-a-html-y-css.html>, 2016. [Acceso online] Última vez 4/06/2021.
- [56] Lenguaje CSS. ¿qué es css? <https://lenguajecss.com/css/introduccion/que-es-css/>, 2018. [Acceso online] Última vez 4/06/2021.
- [57] Gorka Laucirica y Miguel Angel Durán. ¿qué es react? <https://desarrolloweb.com/articulos/que-es-react-motivos-uso.html>, 2019. [Acceso online] Última vez 4/06/2021.
- [58] React. Empezando con react. <https://es.reactjs.org/>, 2020. [Acceso online] Última vez 4/06/2021.
- [59] Gustavo B. ¿qué es mysql? explicación detallada para principiantes. <https://www.hostinger.es/tutoriales/que-es-mysql>, 2020. [Acceso online] Última vez 4/06/2021.
- [60] Angel Robledano. Que es sql (structured query language). <https://openwebinars.net/blog/que-es-sql/>, 2019. [Acceso online] Última vez 4/06/2021.
- [61] Fernando Machuca. ¿qué es python? el lenguaje de programación más popular para aprender en 2021. <https://www.crehana.com/es/blog/web/que-es-python/>, 2021. [Acceso online] Última vez 4/06/2021.
- [62] E. Alted López. Pro centros de trauma. *Medicina Intensiva*, 34(3):188–193, 2010.

Apéndice A

Aspectos éticos, económicos, sociales y ambientales

Una vez explicado el desarrollo del simulador clínico para el entrenamiento en el manejo de la enfermedad traumática grave, es necesario analizar el impacto que tiene en los diferentes ámbitos. Para ello, se analizan las ventajas que tiene referidas a aspectos sociales, económicos, éticos y ambientales.

A.1. Aspecto Ético

La ética médica tiene como objetivo preservar la seguridad, la integridad y el correcto cuidado de los pacientes. El simulador clínico va a permitir entrenar a los profesionales en los protocolos de actuación de la enfermedad traumática, de forma que, los errores clínicos cometidos en la práctica clínica diaria serían reducidos. Además, con el uso del simulador, los pacientes no serían utilizados como sujetos de experimentación a la hora de aprender nuevas habilidades y destrezas ante esta enfermedad. Por todo ello, la seguridad del paciente prevalecería por encima de todo, logrando uno de los principales objetivos de la ética médica.

A.2. Aspecto Económico

El tratamiento de pacientes traumatizados implica gastos sanitarios que pueden ser reducidos con el uso del simulador clínico. Mediante su utilización, la incidencia que tiene la enfermedad traumática en la sociedad se vería notablemente disminuida lo que llevaría a una reducción de los recursos destinados al tratamiento de esta enfermedad en los centros hospitalarios. Además, si los profesionales tienen mayores capacidades para tratar las lesiones traumáticas, los pacientes pueden regresar a su vida tan pronto como sea posible por lo que la reintegración laboral se vería mejorada. También, la enfermedad traumática puede acarrear un gran número de secuelas severas en los pacientes por lo que el gasto necesario para tratar a una persona con habilidades reducidas es también bastante importante. Así pues, con el uso del presente simulador este gasto se podría quedar eficazmente reducido.

A.3. Aspecto Social

El trauma grave es una enfermedad que representa una de las principales causas de muerte en todo el mundo [62]. Gracias a los avances tecnológicos en el ámbito de la medicina, los centros de salud brindan una atención de mejor calidad al paciente y las enfermedades tienen un mejor pronóstico. Además, durante los últimos años la esperanza de vida se ha visto notablemente incrementada lo cual está estrechamente relacionado con el paradigma digital en el que está inmersa la sociedad actual [2]. Actualmente, se utilizan numerosas herramientas tecnológicas como por ejemplo algoritmos de inteligencia artificial para la detección del cáncer o robots médicos en cirugía, que constituyen componentes esenciales en el tratamiento de muchas enfermedades, contribuyendo a disminuir las tasas tanto de mortalidad como de morbilidad de las mismas.

Por ello, en este Trabajo Fin de Grado se ha desarrollado un simulador clínico interactivo que ayude a los profesionales clínicos en el manejo de la enfermedad traumática grave. Gracias a esta herramienta software, se va a tener experiencia previa ante situaciones traumáticas, dotando a los profesionales de una mayor capacidad para tomar decisiones rápidas y eficaces. Así, este simulador podría contribuir a mejorar los protocolos de actuación que se llevan a cabo en las lesiones traumáticas. Adicionalmente, podría implantarse en los centros de simulación clínica como una novedosa herramienta tecnológica que ayude tanto a los profesionales médicos, a abordar mejor el tratamiento de esta enfermedad, como a los pacientes, a recuperarse con mejores garantías ante un traumatismo.

A.4. Aspecto Ambiental

No existe un impacto ambiental directo en el desarrollo de este Trabajo Fin de Grado. La herramienta desarrollada es un simulador web por lo que no se han utilizado materiales o productos que causen daño en el medio ambiente.

Apéndice B

Presupuesto económico

Este Trabajo Fin de Grado se ha desarrollado gracias a la colaboración del servicio de Simulación Clínica del Hospital Universitario La Paz y el departamento de Tecnología Fotónica y Bioingeniería de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación. Para calcular el presupuesto económico que genera el desarrollo del simulador clínico, se han tenido en cuenta los costes referidos al personal implicado y a los recursos materiales utilizados.

- **Costes de personal**

Para hacer un promedio de los costes del personal que se han generado durante el desarrollo del Proyecto, se ha tenido en cuenta el número de horas dedicadas a su realización, por parte del director jefe del Proyecto y del estudiante de ingeniería.

En la Tabla B.1 se recogen los gastos totales por el personal que ha llevado a cabo el desarrollo del simulador.

	Coste horario (€)	Horas	Total (€)
Director del proyecto	26	30	780
Estudiante de ingeniería	10	500	5000
TOTAL			5780

Tabla B.1: Costes de personal.

- **Costes de recursos materiales**

Para llevar a cabo el desarrollo del simulador clínico, se ha utilizado como herramienta un ordenador Huawei MateBook D con procesador i5, 8GB de RAM y un disco duro de 238G. En la Tabla B.2 se muestra un desglose del presupuesto, donde se ha analizado el coste unitario de la herramienta, su tiempo de vida en años, el tiempo empleado en meses y la amortización en años.

	Tiempo de vida (años)	Uds.	Coste (€)	Amortización (€/mes)	Uso (meses)	Total (€)
Ordenador	4	1	650	14.58	6	22.29
TOTAL						22.29

Tabla B.2: Costes de recursos materiales.

Teniendo en cuenta los costes de personal y los costes de recursos materiales anteriormente descritos, la Tabla B.3 muestra el desglose total de estos gastos con IVA. El coste total de este Proyecto Fin de Grado es de 7020,77 €

	Coste
Costes de personal	5780,00€
Costes de material	22,29€
Subtotal	5802,29€
IVA	1218,48€
Total	7020,77€

Tabla B.3: Costes totales.

Apéndice C

Análisis de Datos

Adicionalmente, se ha realizado otro análisis de datos. En este caso se van a representar los resultados en función del número de simulaciones realizadas por cada uno de los usuarios, al contrario que el análisis presentado en el Capítulo 5 donde los resultados se graficaban en función del tiempo. De esta manera, se han analizado todas las simulaciones que han llevado a cabo 28 usuarios, tanto las del módulo examen como las del módulo de entrenamiento. Las gráficas van a estar formadas por barras de color naranja que representarán las simulaciones realizadas de manera errónea y las barras azules, las acciones realizadas de manera correcta.

Las acciones a analizar y los resultados se presentan a continuación:

- Auscultación

La técnica de auscultación debe haberse realizado en los primeros cuatro minutos. Por lo tanto, mediante la librería Pandas de Python se filtra a aquellos alumnos que hayan realizado la auscultación en los primeros cuatro minutos. De estos alumnos se obtienen todas las simulaciones que han realizado, de manera que, tal y como se puede ver en la Figura C.1, el número de simulaciones donde se ha realizado la auscultación en menos de cuatro minutos queda representado de color azul y las simulaciones donde no se ha realizado la auscultación en los primeros cuatro minutos, están representadas de color naranja.

Los resultados que se obtienen muestran que 25 usuarios han realizado al menos una simulación bien donde se ha realizado la auscultación en menos de cuatro minutos. En este caso, 9 usuarios son residentes y 16 estudiantes. Por lo tanto, analizando las simulaciones donde no se hayan cometido fallos, es decir, las representadas por barras completamente azules, se obtienen 11 simulaciones de las cuales, 6 corresponden a residentes y 5 a estudiantes.

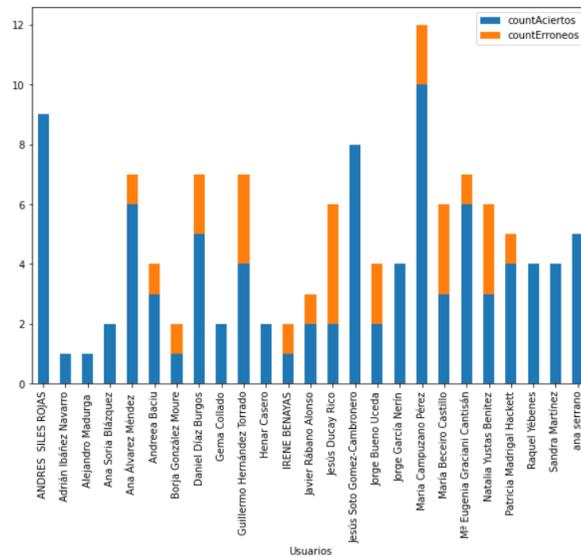


Figura C.1: Simulaciones con acción de auscultación .

- Monitorización 4 parches

La técnica de monitorización 4 parches, al igual que la anterior, debe haberse realizado en los primeros cuatro minutos. En este caso 18 usuarios han realizado al menos una simulación bien donde la monitorización de 4 parches se ha llevado a cabo en los primeros cuatro minutos. De estos 18, 9 son estudiantes y otros 9 residentes. Por lo tanto, tal y como se puede ver en la Figura C.2 , existen 8 usuarios que no han cometido fallos, siendo 5 de ellos residentes y 4 estudiantes.

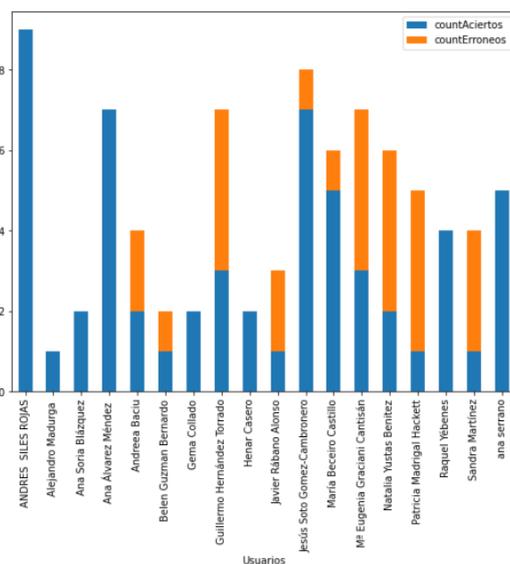


Figura C.2: Simulaciones con acción de monitorización 4 parches.

- Pulsioxímetro

La técnica de pulsioxímetro debe de haberse realizado en menos de cuatro minutos. Además la saturación de oxígeno en sangre no puede ser inferior al 92%. Por lo tanto, se han obtenido los usuarios que en al menos una de sus simulaciones, hayan cumplido con estas dos condiciones. En este caso, se obtiene que los 28 participantes han realizado correctamente esta técnica en al menos una de sus simulaciones. Los usuarios que no han cometido fallos son 19, tal y como se puede ver en las barras azules de la Figura C.3. De ellos, 9 son residentes y 10 estudiantes, siendo en este caso el número de los estudiantes los que han realizado mejor la técnica.

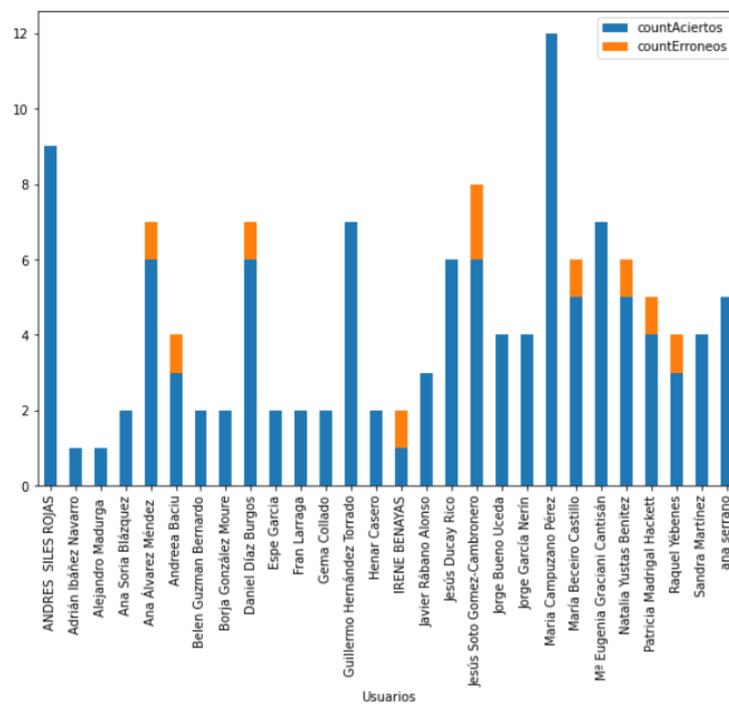


Figura C.3: Simulaciones con acción de pulsioxímetro.

- Cánula Orofaringea

Esta técnica no debe aplicarse en ningún caso durante el desarrollo de la simulación. De esta manera se obtiene que, 13 usuarios la han aplicado en al menos una de sus simulaciones, siendo 8 de ellos estudiantes y 5 residentes. Tal y como se puede ver en la Figura C.4, solamente existen dos barras completamente naranjas, pertenecientes a dos estudiantes, que serán aquellos que han puesto la cánula orofaríngea en todas sus simulaciones realizadas y que por lo tanto han actuado de manera errónea.

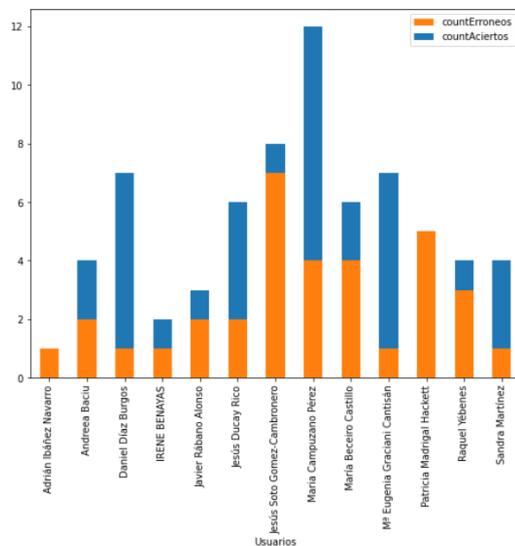


Figura C.4: Simulaciones con acción de cánula orofaríngea.

- SG 5% de Mantenimiento

Al igual que la técnica anterior, no debe aplicarse en ningún caso durante el desarrollo de la simulación. Se obtiene que 10 usuarios han realizado esta acción, siendo todos ellos estudiantes, reflejando que los residentes no han realizado esta técnica y han actuado correctamente. De los 10 estudiantes, tres de ellos, tal y como se puede ver en la Figura C.5, han aplicado esta técnica en todas sus simulaciones realizadas, actuando de manera errónea.

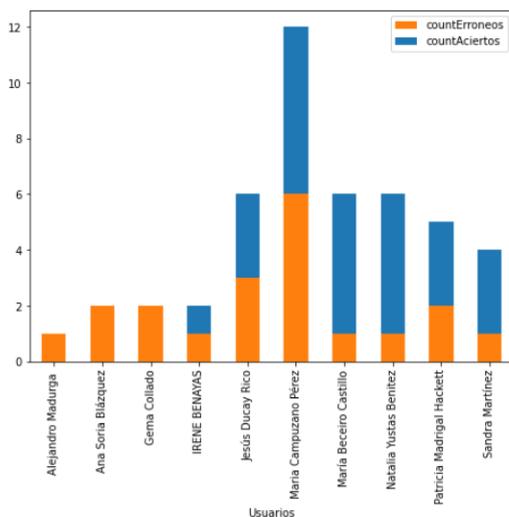


Figura C.5: Simulaciones con acción de SG 5% de mantenimiento.

- Cinturón pélvico, collarín cervical, ácido Tranexámico 1g IV y rx pelvis

Todas estas acciones tienen que haberse realizado antes de terminar el caso en una misma simulación. Todos los participantes han realizado al menos una simulación donde han realizado una de estas técnicas pero tal y como se puede observar en la Figura C.6 ninguno de ellos ha realizado estas cuatro acciones en una misma simulación. Por lo tanto, en este caso ni estudiantes ni residentes han actuado de forma correcta.

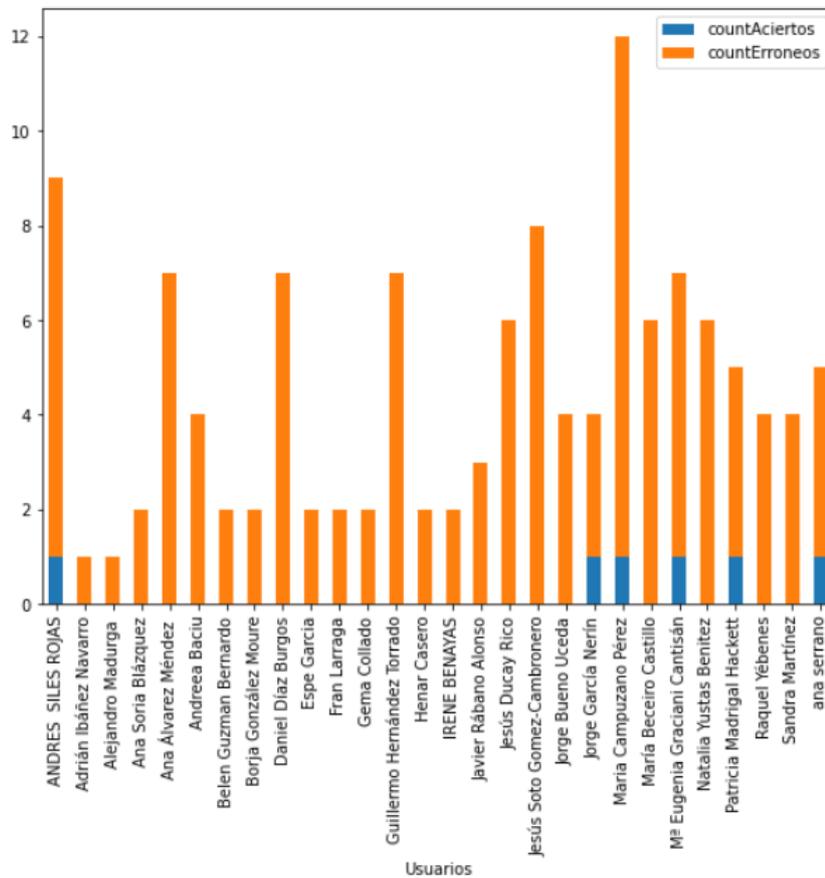


Figura C.6: Simulaciones con acciones de cinturón pélvico, collarín cervical, Ácido Tranexámico 1g IV y Rx Pelvis .

Apéndice D

Anamnesis de los casos clínicos

Categoría	Pregunta	Efecto en el caso
Anamnesis	¿Cómo te llamas?	Antonio
	¿Qué edad tienes?	25 años
	¿Tienes alguna alergia?	A la piel del melocotón
	¿Tienes alguna enfermedad importante?	No
	¿Tomas alguna medicación?	Paracetamol a veces
	¿Sabes dónde estás?	Sí, en medio de la calle.
	¿Sabes qué ha pasado?	Estaba esperando en un semáforo en rojo y he sentido un fuerte golpe detrás y me he visto en el suelo. He visto un coche salir acelerando.
	¿Dónde te duele?	Me duele mucho la ingle. En cuanto intento mover una pierna me duele.
	¿Te cuesta respirar?	No, me duele mucho la ingle.
	¿Puedes mover las piernas y los brazos?	Mueve ambos pies
¿Sientes cómo te toco?	Sí, si te siento	

Tabla D.1: Anamnesis del caso clínico 1

Categoría	Pregunta	Efecto en el caso
Anamnesis	¿Cómo te llamas?	Javier
	¿Qué edad tienes?	33 años
	¿Tienes alguna alergia?	A los frutos secos
	¿Tienes alguna enfermedad importante?	No
	¿Tomas alguna medicación?	Ibuprofeno a veces
	¿Sabes dónde estás?	Sí, fuera de la carretera entre unos arbustos.
	¿Sabes qué ha pasado?	Estaba circulando y de repente un coche me dio en el lateral del coche y ya no recuerdo nada hasta verme entre medio de estos arbustos fuera de la carretera.
	¿Dónde te duele?	Me duele mucho en cuanto intento mover la pierna derecha.
	¿Te cuesta respirar?	No, no me cuesta respirar pero me noto muy nervioso y como si el corazón se me saliera del pecho.
	¿Puedes mover las piernas y los brazos?	Aunque me cueste, creo que puedo mover los dedos de la pierna derecha.
¿Sientes cómo te toco?	Sí, si te siento	

Tabla D.2: Anamnesis del caso clínico 2

Categoría	Pregunta	Efecto en el caso
	¿Cómo te llamas?	Paco
	¿Qué edad tienes?	50 años
	¿Tienes alguna alergia?	No
	¿Tienes alguna enfermedad importante?	No, aunque tiene trastornos intestinales que le han diagnosticado como colón irritable
Anamnesis	¿Tomas alguna medicación?	Somníferos en algunas ocasiones cuando tiene problemas para dormir
	¿Sabes dónde estás?	Sí, en la obra en la que estoy trabajando
	¿Sabes qué ha pasado?	Estaba trabajando cuando me he tropezado yo solo y me he caído del andamio. No recuerdo el impacto pero sí cómo me he caído.
	¿Dónde te duele?	Me duele mucho en cuanto intento mover cualquiera de las dos piernas.
	¿Te cuesta respirar?	No, no me cuesta respirar pero me noto como si estuviera un poco confundido.
	¿Puedes mover las piernas y los brazos?	Puedo moverme aunque me duele muchísimo y hacia afuera me cuesta mucho también.
	¿Sientes cómo te toco?	Sí, si te siento

Tabla D.3: Anamnesis del caso clínico 3

Categoría	Pregunta	Efecto en el caso
	¿Cómo te llamas?	Manuel
	¿Qué edad tienes?	82 años
	¿Tienes alguna alergia?	Sí, al nolotil
	¿Tienes alguna enfermedad importante?	No, aunque por la edad tiene la tensión algo alta y problemas de azúcar.
	¿Tomas alguna medicación?	Lisinopril, una pastilla al día
Anamnesis	¿Sabes dónde estás?	Sí, en casa
	¿Sabes qué ha pasado?	Iba a cruzar la calle y esa bicicleta me ha atropellado, me he caído al suelo y me he pegado un buen golpe, tanto que no me puedo levantar.
	¿Dónde te duele?	Me duele mucho en la ingle.
	¿Te cuesta respirar?	No, no me cuesta respirar aunque cuando me dan pinchazos de dolor me cuesta respirar.
	¿Puedes mover las piernas y los brazos?	Puedo moverme, aunque me duele muchísimo y sobretodo la pierna izquierda que no puedo apenas moverla.
	¿Sientes cómo te toco?	Sí, si te siento

Tabla D.4: Anamnesis del caso clínico 4

Apéndice E

Acciones

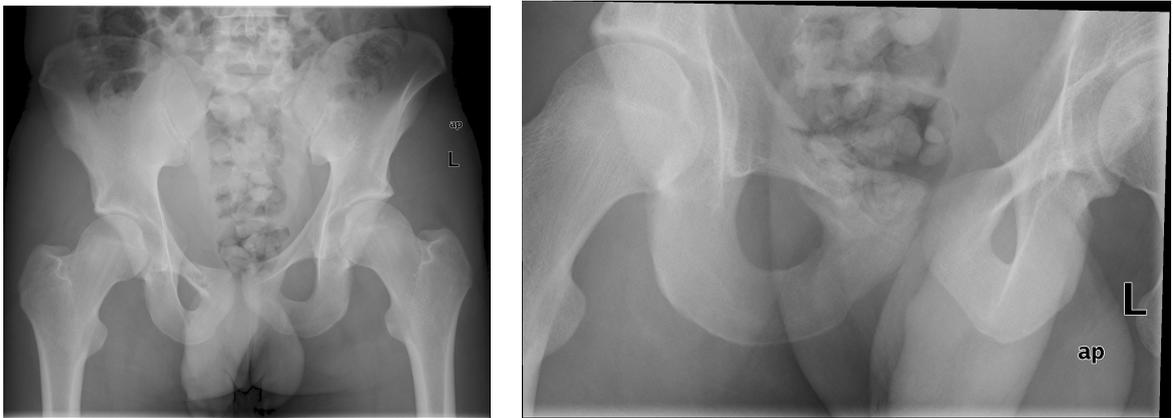
Categoría	Técnica	Mensaje
Vía Aérea y ventilación	Auscultación	Se ausculta al paciente observando un murmullo vesicular conservado
	Pulsioxímetro	Se mide la saturación de oxígeno en sangre y la frecuencia cardiaca que aparece en la pantalla.
	Aspirador	Aspirando los cuerpos extraños encontrados.
	Cánula orofaríngea	Cánula orofaríngea colocada.
	Oxigenoterapia con gafas nasales	Gafas nasales colocadas
	Oxigenoterapia con mascarilla con reservorio	Se coloca una mascarilla con oxígeno.
	Intubación orotraqueal (IOT)	IOT correcta
	Ventilación con bolsa autoinflable	Se administra oxígeno al paciente.
	Capnógrafo	Se mide el EtCO2 obteniendo un valor de 30-43 mmHg
	Apósito oclusivo	Se cubre la herida con un apósito para proteger y optimizar la cicatrización.
Circulación/Hemorragias	Toracocentesis con aguja	No se aprecia salida de aire
	Drenaje torácico	Escaso líquido sanguinolento.
	Conexión a ventilación mecánica	Paciente conectado a ventilación mecánica.
	Torniquete	Se coloca un torniquete para detener el sangrado
	Aplicación presión directa	Se aplica presión directa para detener la hemorragia
	Aplicación agente hemostático	Se acelera el proceso de coagulación sanguínea para controlar la hemorragia
	Canalización VVP	VVP colocada y permeable
	Canalización IO	Vía intraósea colocada
Exposición/Otros	PANI digital	PANI digital muestra la tensión del paciente que aparece en la pantalla
	Monitorización 4 parches	Monitorización del paciente mediante la colocación de 4 electrodos. ECG normal
	ECG 12 derivaciones	Monitorización del paciente mediante 10 electrodos para obtener 12 derivaciones. ECG normal.
	Retirada de ropa	Ropa retirada
Fármacos y Fluidoterapia	Manta térmica	Manta térmica colocada.
	Sondaje vesical	Se realiza sondaje vesical.
	Sondaje nasogástrico	Se realiza sondaje nasogástrico
	SIR	Secuencia de intubación rápida
	Fentanilo 50 mcg IV	Fentanilo administrado
	Midazolam 2 mg IV	Midazolam administrado.
	Ácido tranexámico 1g IV	Ácido tranexámico administrado
	Noradrenalina IV	Se inicia perfusión de noradrenalina
	SSF 20 ml/Kg en 10 minutos	Bolo SSF administrado
	SSF 500 ml mantenimiento	Inicio SSF 500 ml
Pruebas Complementarias	SG 5% mantenimiento	Inicio SG 5%.
	Voluvén 250 ml IV	Inicio voluvén 250 ml
	RX de pelvis	Seleccione el tipo de radiografía
Inmovilización	Interconsultas a otras especialidades	Consulta a otras especialidades solicitada.
	Colchón de vacío	Se coloca colchón de vacío
	Férula de vacío	Se coloca férula de vacío
	Cinturón pélvico	Cinturón pélvico colocado
	Colocación collarín cervical	Collarín cervical colocado
Control cervical manual	Se realiza el control cervical manual	

Tabla E.1: Acciones implementadas y el mensaje que se muestra en el simulador

Apéndice F

Radiografías

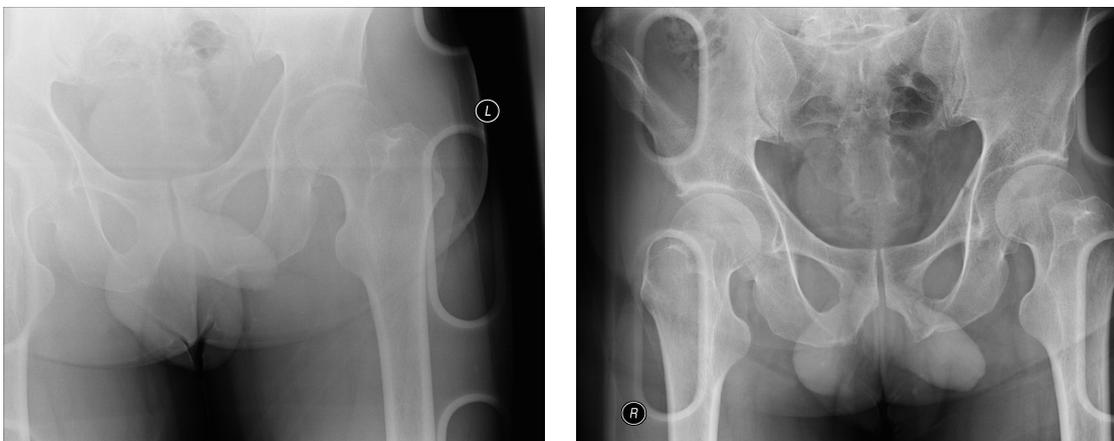
Las radiografías pélvicas que se presentan a continuación han sido implementadas en los cuatro casos clínicos descritos en este Trabajo Fin de Grado.



(a)

(b)

Figura F.1: Radiografía Pélvica del caso clínico 1



(a)

(b)

Figura F.2: Radiografía Pélvica del caso clínico 2



(a)

(b)

Figura F.3: Radiografía Pélvica del caso clínico 3

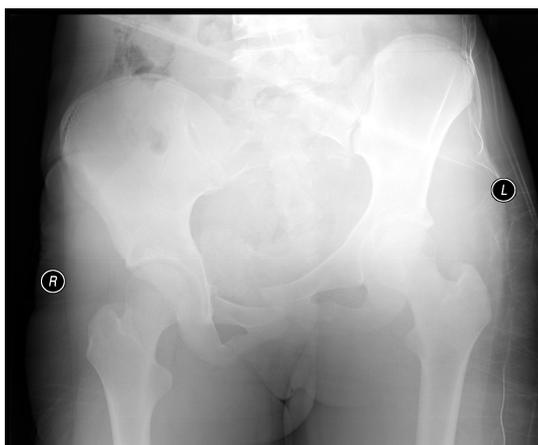


Figura F.4: Radiografía Pélvica del caso clínico 4.

Apéndice G

Manual de usuario

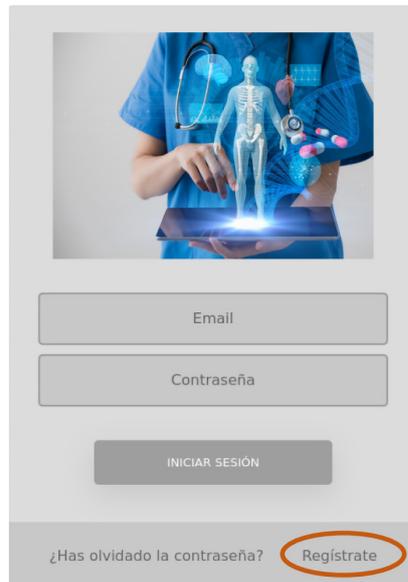
El simulador web interactivo permitirá entrenar y aprender protocolos de actuación para el manejo de lesiones traumáticas. Estas lesiones pueden ocurrir en entornos prehospitalarios u hospitalarios y poder entrenar protocolos de actuación es clave.

El objetivo de esta formación es poder entrenar a los clínicos para hacer frente a este tipo de lesiones traumáticas. Para ello se realizará una primera simulación en la que se presentará un caso clínico de lesión traumática en la pelvis y se registrará la actuación llevada a cabo. Posteriormente, se proporcionarán diferentes casos de trauma pélvico para poder ir entrenando y aprendiendo con el simulador a lo largo de dos semanas. Para ello, todos los días se deberá acceder al simulador y se realizará, al menos, una simulación al día durante dos semanas. Una vez acabado este período de entrenamiento, se realizará de nuevo la misma simulación que la que se realizó el primer día, registrando de nuevo la actuación llevada a cabo.

Este simulador presentará un paciente virtual que, en cada caso, sufrirá una lesión traumática de pelvis. Se mostrará en pantalla una leve descripción del estado del paciente y será entonces cuando se podrá comenzar el tratamiento. Para ello, se presentarán acciones que se pueden llevar a cabo y las cuales, tendrán un impacto en la evolución del paciente.

Pasos para poder acceder al simulador y llevar a cabo las simulaciones:

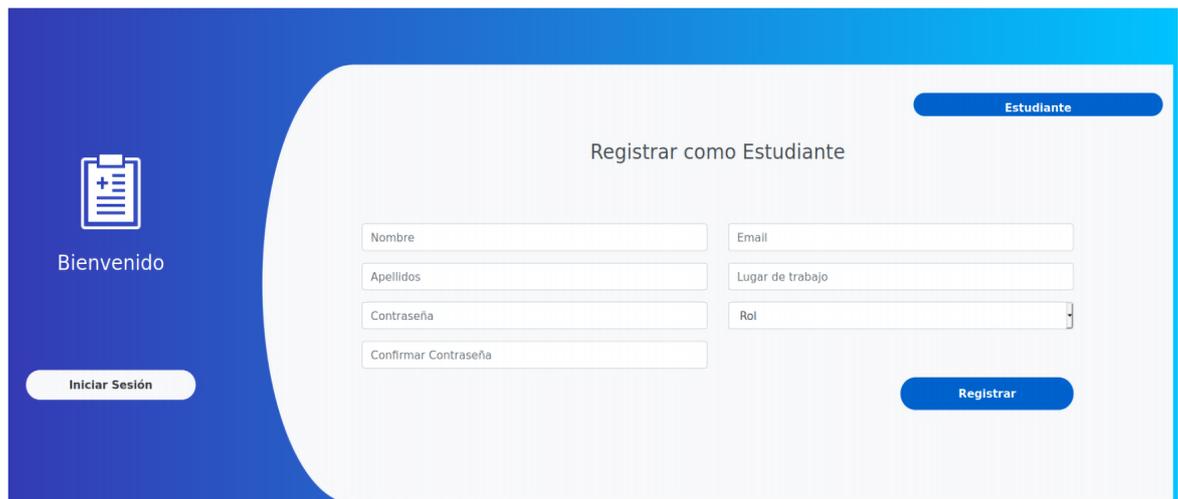
1. Accede al simulador
2. Selecciona la opción: regístrate, tal y como se puede ver en la Figura G.1, e introduce tus datos,



The image shows a login/register form with a medical theme. At the top, there is a photograph of a person in blue scrubs holding a glowing human skeleton. Below the image are two input fields labeled "Email" and "Contraseña". A button labeled "INICIAR SESIÓN" is positioned below these fields. At the bottom, there is a link "¿Has olvidado la contraseña?" and a button labeled "Regístrate" which is circled in orange.

Figura G.1: Registro en la aplicación.

El registro se llevará a cabo como estudiante. Se deberán cumplimentar todos los campos para poderse registrar, tal y como muestra la Figura G.2. Importante seleccionar el rol que, corresponderá con vuestra profesión. Si tu rol es estudiante puesto que eres estudiante de medicina, en el lugar de trabajo, incluye tu facultad.



The image shows a registration form titled "Registrar como Estudiante". On the left side, there is a blue sidebar with a white icon of a clipboard with a plus sign, the text "Bienvenido", and a button labeled "Iniciar Sesión". The main form area has a blue header with the text "Estudiante". Below the header, the title "Registrar como Estudiante" is centered. The form contains several input fields: "Nombre", "Email", "Apellidos", "Lugar de trabajo", "Contraseña", "Rol" (a dropdown menu), and "Confirmar Contraseña". A blue button labeled "Registrar" is located at the bottom right of the form.

Figura G.2: Registro como estudiante.

3. Tras registrarte, selecciona iniciar sesión en la misma pestaña y te llevará a la página principal que se ve en la figura más abajo. Introduce email y contraseña y podrás iniciar sesión, tal y como se puede ver en la Figura G.3

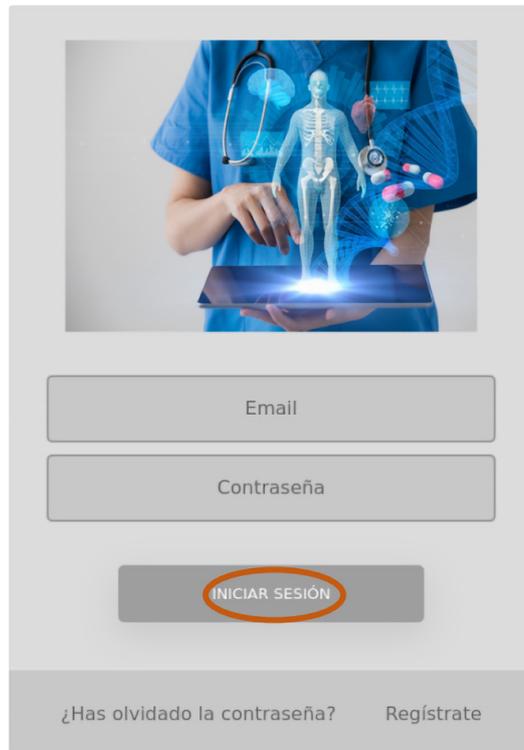
El formulario de inicio de sesión está presentado en un recuadro gris. En la parte superior hay una imagen de un médico en azul interactuando con un holograma de un cuerpo humano. Debajo de la imagen hay tres campos de entrada: 'Email', 'Contraseña' y un botón 'INICIAR SESIÓN' que está rodeado por un círculo naranja. En la parte inferior del recuadro hay dos enlaces: '¿Has olvidado la contraseña?' y 'Regístrate'.

Figura G.3: Inicio de sesión de la aplicación.

4. Aparecerán dos opciones, tal y como muestra la Figura G.4

- Examen
- Entrenamiento

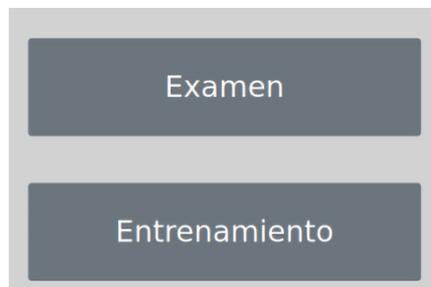
Este formulario muestra dos botones rectangulares de color gris oscuro con texto blanco. El botón superior contiene el texto 'Examen' y el botón inferior contiene el texto 'Entrenamiento'.

Figura G.4: Módulos de entrenamiento y examen.

El primer acceso se accederá a la opción examen y se realizarán dos casos que aparecerán en este apartado. Posteriormente y durante las dos semanas siguientes, cada vez que se acceda al simulador se accederá a la opción entrenamiento y, cada

día, se entrenará utilizando el simulador. Tras las dos semanas de entrenamiento se volverá a acceder a la opción examen y se realizarán de nuevo, los dos primeros casos.

En la Figura G.5 se muestran las simulaciones que aparecerán en la opción de entrenamiento y a las cuales se podrá acceder tantas veces como se considere:

Fase	Sexo	Edad	Parte afectada	Tiempo	Acción	Informe
Pre Hospitalaria	Hombre	33	Pierna derecha	30	Entrar	Pendiente
Hospitalaria	Hombre	50	Ambas piernas	30	Entrar	Pendiente
Pre Hospitalaria	Hombre	82	Pierna izquierda	30	Entrar	Pendiente
Hospitalaria	Hombre	82	Pierna izquierda	30	Entrar	Pendiente
Hospitalaria	Hombre	33	Pierna derecha	30	Entrar	Pendiente
Pre Hospitalaria	Hombre	50	Ambas piernas	30	Entrar	Pendiente

Figura G.5: Listado de simulaciones del módulo de entrenamiento.

5. Cuando accedes o a la opción examen o a la opción entrenamiento, se verán las simulaciones y seleccionaremos el botón “Entrar” para acceder a cada una de ellas, tal y como se puede ver en la Figura G.6

Fase	Sexo	Edad	Parte afectada	Tiempo	Acción	Informe
Pre Hospitalaria	Hombre	33	Pierna derecha	30	Entrar	Pendiente
Hospitalaria	Hombre	50	Ambas piernas	30	Entrar	Pendiente
Pre Hospitalaria	Hombre	82	Pierna izquierda	30	Entrar	Pendiente
Hospitalaria	Hombre	82	Pierna izquierda	30	Entrar	Pendiente
Hospitalaria	Hombre	33	Pierna derecha	30	Entrar	Pendiente
Pre Hospitalaria	Hombre	50	Ambas piernas	30	Entrar	Pendiente

Figura G.6: Entrada para realizar una simulación del módulo de entrenamiento.

6. Lo primero que aparecerá será un cuadro de texto informativo con datos del paciente, tal y como se puede ver en la Figura G.7. Una vez cerremos esta ventana, aparecerá el paciente.

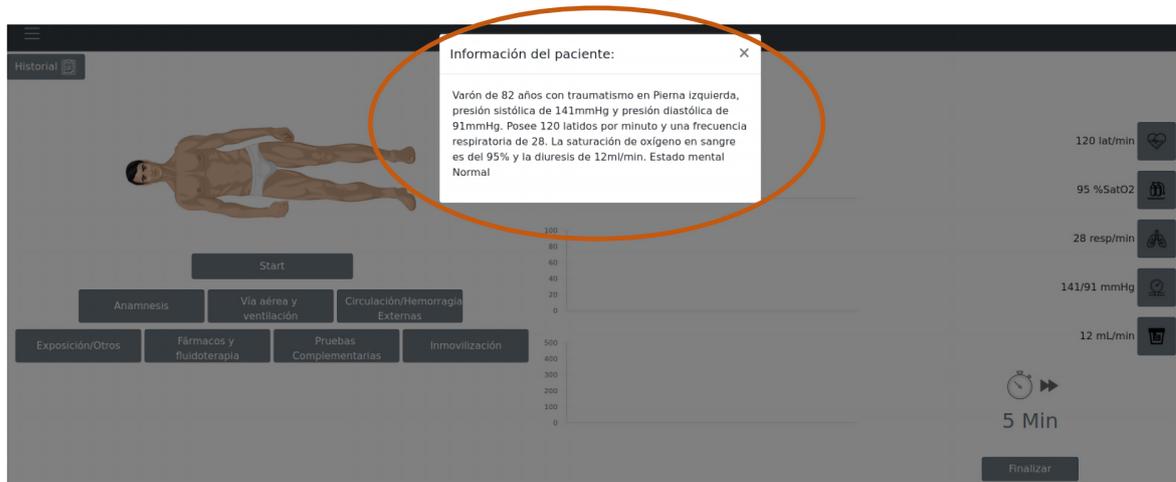


Figura G.7: Mensaje con la información del paciente.

7. Seleccionar la opción “Start”, tal y como se puede ver en la Figura G.8, cuando se esté preparado para comenzar la simulación.

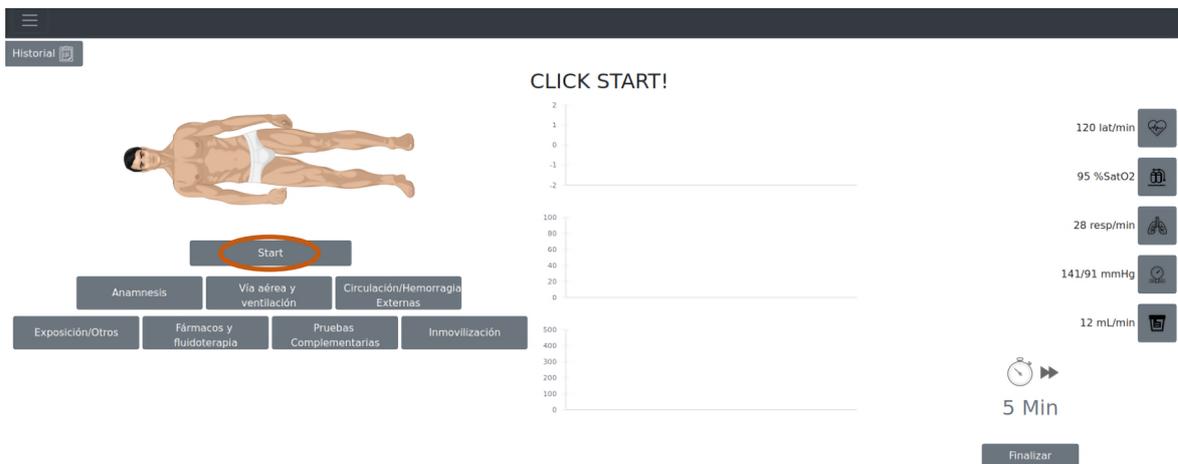


Figura G.8: Inicio de la simulación.

En ese momento se podrá comenzar el tratamiento al paciente. En la parte superior se mostrará el tiempo para tratar al paciente y será de 30 minutos. Adicionalmente, aparecerá un paciente virtual, una serie de acciones que se pueden llevar a cabo y unas constantes vitales. En la esquina superior izquierda aparece un desplegable para pruebas que se puedan pedir. En esta versión solamente se podrán pedir placas de rayos X de pelvis y una pestaña con el historial donde se recogerán todas las acciones y tratamientos que se aplicarán al paciente.

Se permite aplicar cualquier acción y/o tratamiento y avanzar el tiempo 5 minutos para ver cómo impacta en la evolución del paciente, tal y como se puede ver en la Figura G.9. También se puede finalizar la simulación en cualquier momento si se

considera que ya se ha tratado y/o estabilizado al paciente.

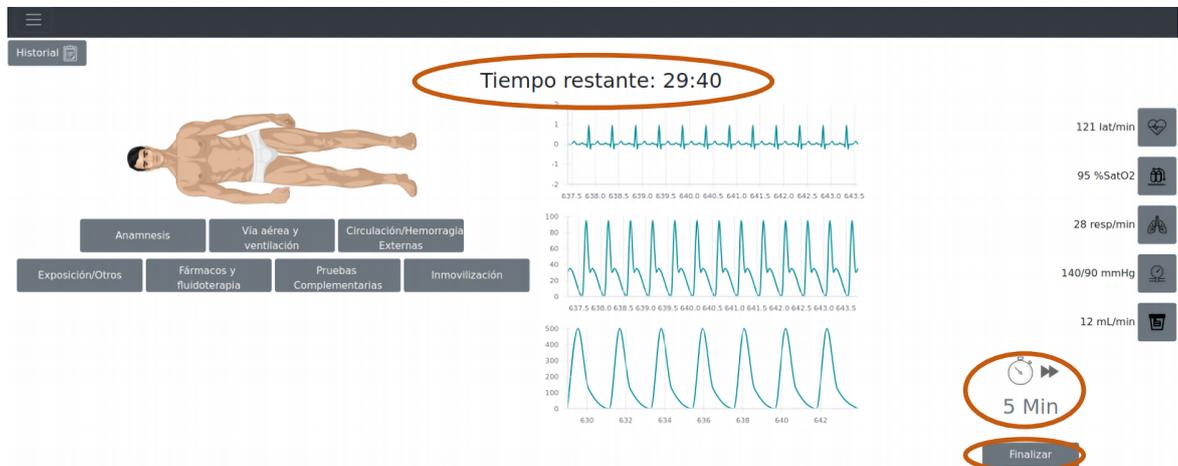


Figura G.9: Tiempo restante de la simulación, avanzar 5 minutos y finalizar .

8. En caso de pedir una placa de rayos X, los resultados estarán disponibles en el menú que aparece arriba a la izquierda, tal y como se puede ver en la Figura G.10

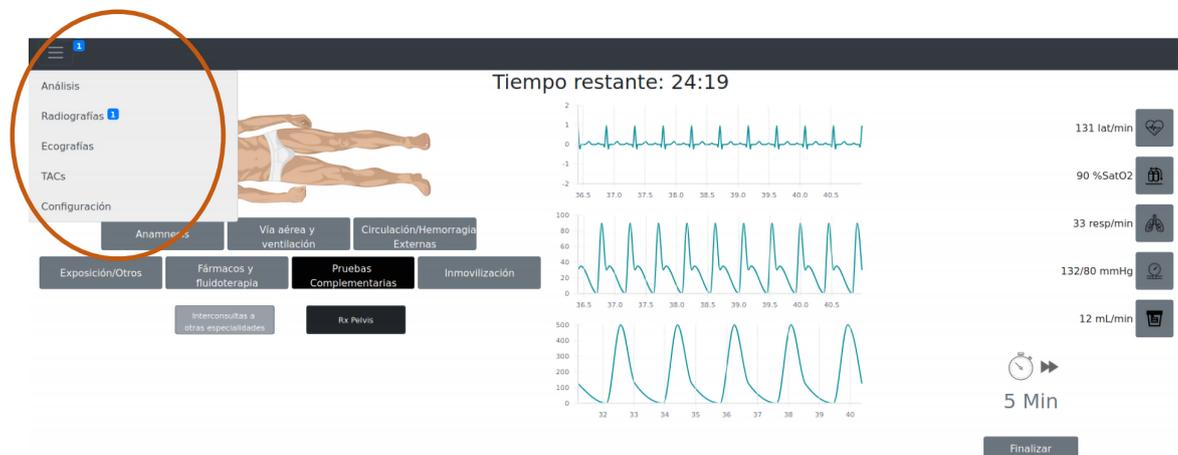


Figura G.10: Menu de pruebas diagnósticas.

9. La simulación finalizará o bien cuando el tiempo se haya agotado, o cuando la persona decida acabar la simulación puesto que ha conseguido estabilizar al paciente o cuando, en pruebas complementarias, se solicita una consulta a otra especialidad, derivando al paciente a otro servicio, tal y como se puede ver en la Figura G.11. Esto sólo se podrá hacer en el caso de simulaciones en las que la atención al paciente se haga en el entorno hospitalario y no en el entorno extrahospitalario.

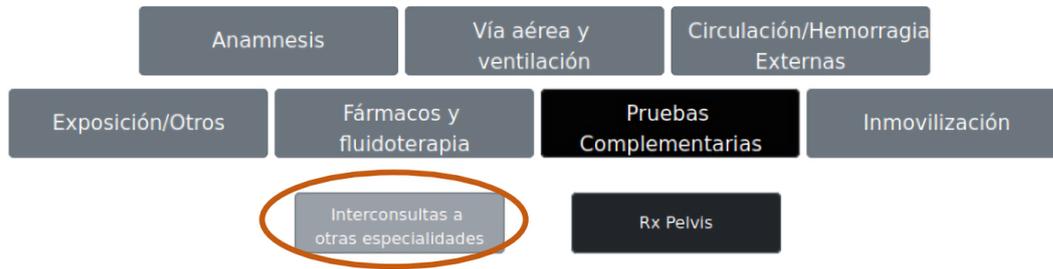


Figura G.11: Opción de interconsultas a otras especialidades dentro de la categoría de pruebas complementarias.

10. Una vez finalizada la simulación, aparece de nuevo el listado de simulaciones en la cual, la simulación finalizada presenta una opción de poder descargar un informe. Este informe contiene la información acerca de las acciones que se han llevado a cabo, así como la evolución de las constantes vitales para poder analizar lo que ha ocurrido en cada caso. Si no apareciera la opción de descargar informe, se podrá obtener refrescando la página.

También se podrá volver a entrar en la simulación seleccionando la opción “volver a entrar”, tal y como se puede ver en la Figura G.12. De esta manera, se podrán entrenar los distintos casos las veces que se quiera durante las dos semanas.

Fase	Sexo	Edad	Parte afectada	Tiempo	Acción	Informe
Pre Hospitalaria	Hombre	33	Pierna derecha	30	Entrar	Pendiente
Hospitalaria	Hombre	50	Ambas piernas	30	Volver a entrar	Descargar
Pre Hospitalaria	Hombre	82	Pierna izquierda	30	Entrar	Pendiente
Hospitalaria	Hombre	82	Pierna izquierda	30	Entrar	Pendiente
Hospitalaria	Hombre	33	Pierna derecha	30	Entrar	Pendiente
Pre Hospitalaria	Hombre	50	Ambas piernas	30	Entrar	Pendiente

Figura G.12: Botones de volver a entrar y descargar informe.

Apéndice H

Cuestionario de usabilidad

A continuación se presentan las respuestas del cuestionario de usabilidad que son las que han permitido presentar los resultados más importantes:



Figura H.1: Respuesta 1 del cuestionario de usabilidad.

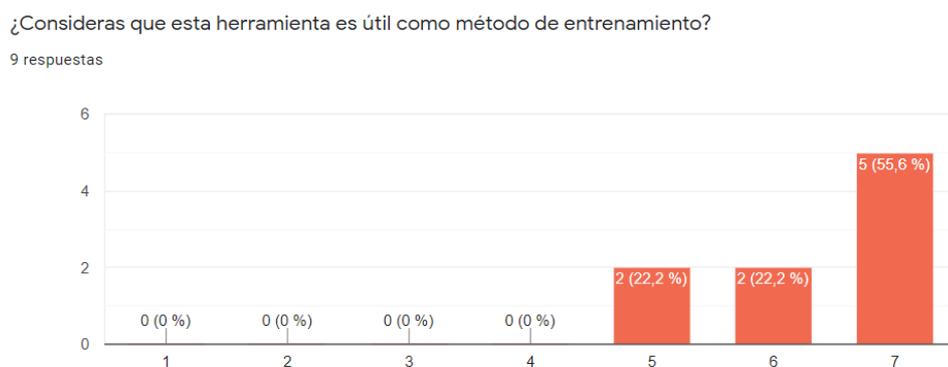


Figura H.2: Respuesta 2 del cuestionario de usabilidad.

¿Crees que se podría aplicar la herramienta en tu servicio/universidad?

9 respuestas

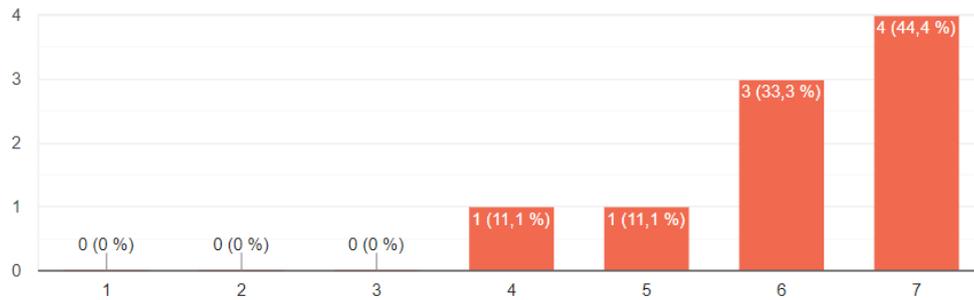


Figura H.3: Respuesta 3 del cuestionario de usabilidad.

¿Consideras adecuadas las variables presentadas en cada simulación?

9 respuestas

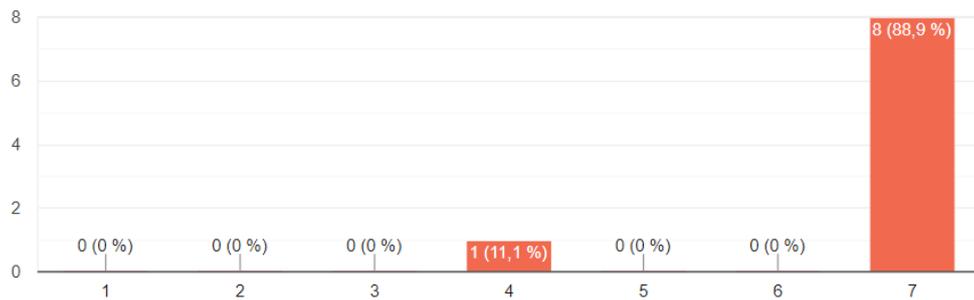


Figura H.4: Respuesta 4 del cuestionario de usabilidad.

Es sencillo aprender a utilizar el simulador

9 respuestas

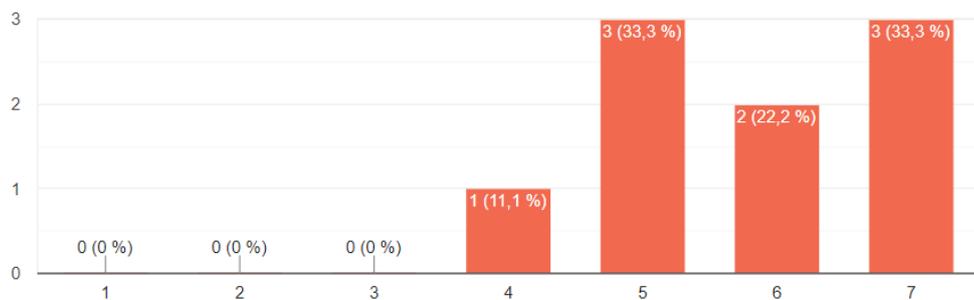


Figura H.5: Respuesta 5 del cuestionario de usabilidad.

Es sencillo localizar la información que necesito

9 respuestas

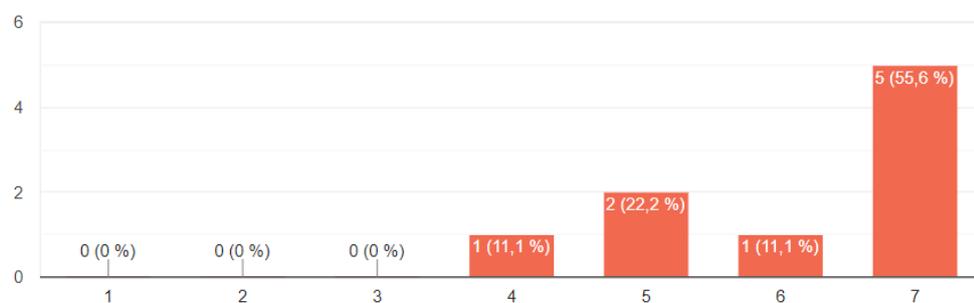


Figura H.6: Respuesta 6 del cuestionario de usabilidad.

La organización de la información en la pantalla es clara

9 respuestas

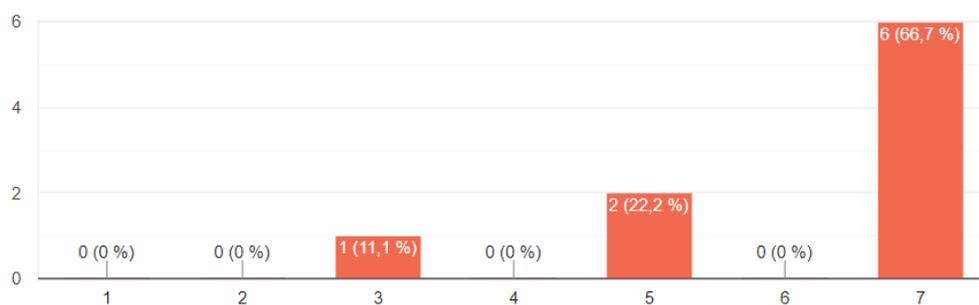


Figura H.7: Respuesta 7 del cuestionario de usabilidad.

El orden de los elementos que aparecen en la pantalla son adecuados

9 respuestas

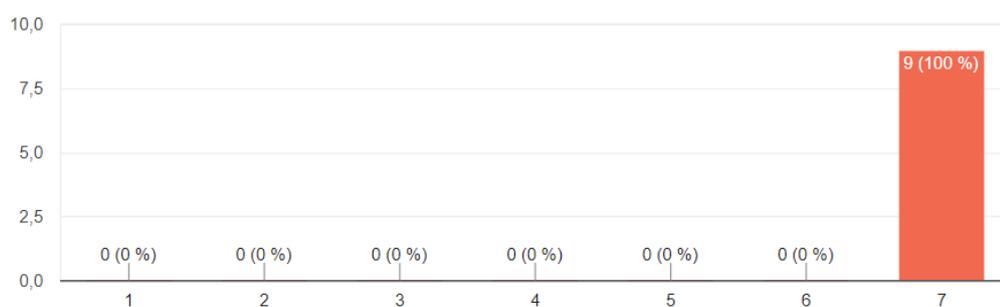


Figura H.8: Respuesta 8 del cuestionario de usabilidad.

Aparecen todos los parámetros de monitorización necesarios para un tratamiento de un paciente de trauma pélvico

9 respuestas

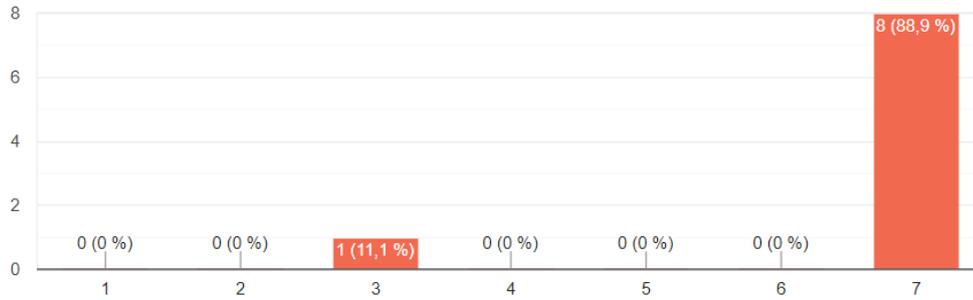


Figura H.9: Respuesta 9 del cuestionario de usabilidad.

La interfaz gráfica es amigable

9 respuestas

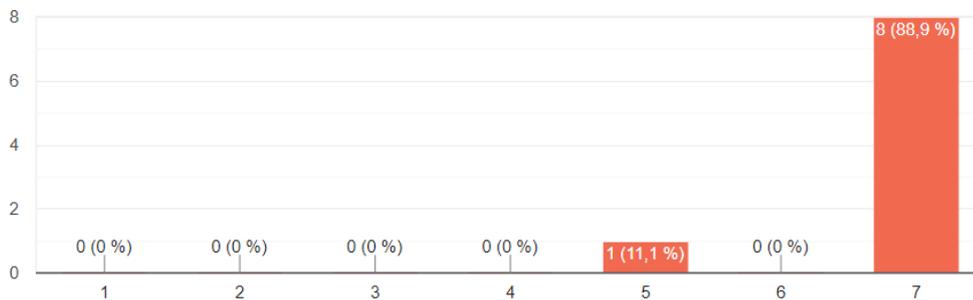


Figura H.10: Respuesta 10 del cuestionario de usabilidad.

El simulador tiene todas las funcionalidades que espero tener

9 respuestas

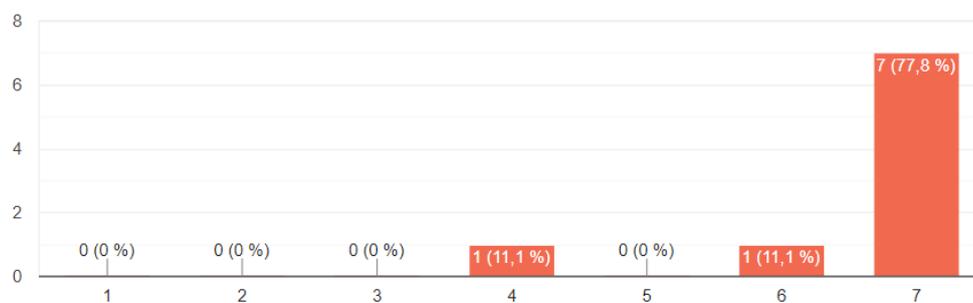


Figura H.11: Respuesta 11 del cuestionario de usabilidad.