UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN

GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS Y SERVICIOS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR WEB INTERACTIVO PARA LA FORMACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE TRAUMATISMOS GRAVES

PATRICIA HERNÁNDEZ NOGUEIRA

2021

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN

GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS Y SERVICIOS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR WEB INTERACTIVO PARA LA FORMACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE TRAUMATISMOS GRAVES

Autora
PATRICIA HERNÁNDEZ NOGUEIRA

Tutores

LUIS CASTAÑEDA LÓPEZ
BLANCA LARRAGA GARCÍA

2021

Resumen

En este Trabajo de Fin de Grado se lleva a cabo el desarrollo e implementación de un simulador clínico web interactivo para la formación de profesionales en el tratamiento de traumatismos graves. Los traumatismos graves requieren de una rápida actuación para no derivar en la muerte del paciente o en secuelas irreversibles. Mediante este simulador se pretende contribuir a la formación de los profesionales médicos y entrenar su respuesta frente a este tipo de lesiones.

El simulador tiene como objetivos servir de entrenamiento a los profesionales médicos para afianzar los conceptos ya aprendidos y facilitar, a su vez, el aprendizaje y la asimilación de los protocolos de actuación frente a un traumatismo grave. Es una herramienta formativa con la que, tanto el estudiante como el profesional, pueden practicar o adquirir nuevas habilidades mediante la resolución de un caso clínico. Adicionalmente, esta herramienta permite una evaluación objetiva de las simulaciones que se lleven a cabo.

Para alcanzar estos objetivos se continúa con el desarrollo de una aplicación web interactiva que refleje, de manera realista, casos clínicos similares a los que el profesional clínico se pueda encontrar en la realidad. Primero, se realizará un estudio de los tipos de lesiones traumáticas graves así como de sus respectivos protocolos de actuación. También se realizará el estudio de varios casos clínicos analizando la evolución real de un paciente traumático. Posteriormente, se llevará a cabo el estudio de las diferentes acciones y técnicas a realizar para el tratamiento del paciente virtual y el control de sus constantes vitales. Todo esto se implementa en la aplicación web para conseguir un simulador lo más realista posible.

Adicionalmente, se desarrollarán cambios en el registro de los usuarios y en la base de datos para obtener una aplicación más segura. Por último, se realizarán dos tipos de validaciones para comprobar que el simulador cumple con los objetivos descritos y que todas las implementaciones se han realizado de manera correcta. La primera validación será una validación técnica con participantes que tienen conocimiento previo del simulador y del proyecto. La segunda validación será por parte de profesionales médicos para evaluar si el simulador cumple los objetivos de utilidad para el aprendizaje, realismo y facilidad de uso.

Palabras clave: Simulador, constantes vitales, traumatismo, caso clínico, frontend, backend.

Abstract

In this End-of-Degree Project, the development and the implementation of an interactive web clinical simulator are carried out for the training of the professionals in the treatment of critical trauma. Critical trauma requires a rapid response to avoid the patient's death or irreversible sequelae. This simulator is intended to contribute to the training of medical professionals to train their response to this type of injuries.

The simulator aims to serve as training for medical professionals in order to reinforce the concepts already learned and, in turn, to facilitate the learning and assimilation of the action protocols in case of critical trauma. It is a training tool with which both, the student and the professional, can practice or acquire new skills by solving a clinical case. Additionally, this tool allows an objective evaluation of the simulations carried out.

To achieve these objectives, the development of an interactive web application that realistically reflects clinical cases similar to those that the medical professional may encounter in reality is continued. First, a study of the types of serious traumatic injuries and their respective protocols of action will be carried out. The study of several clinical cases will also be carried out, analyzing the real evolution of a trauma patient. Subsequently, the study of the different actions and techniques to be performed for the treatment of the virtual patient and the control of his vital signs will be carried out. All this is implemented in the web application to achieve a simulator as realistic as possible.

Additionally, changes will be developed in the user registry and in the database to obtain a more secure application. Finally, two types of validations will be performed to verify that the simulator meets the described objectives and that all the implementations have been carried out correctly. The first validation will be a technical validation with participants who have prior knowledge of the simulator and the project. The second validation will be by medical professionals to evaluate whether the simulator meets the objectives of utility for learning, realism and ease of use.

Keywords: Simulator, vital sings, trauma, clinical case, frontend, backend.

Agradecimientos

Me gustaría dar las gracias a mi tutores Blanca y Luis por su ayuda durante este trabajo.

También me gustaría agradecer a mi familia y a mis amigos por haberme apoyado y animado desde el principio.

Índice general

Resumen v

Abstract vii

Agradecimientos ix

Índice General xi

Índice de Figuras xiii

Índice de Tablas xv

Lista de Acrónimos xvii

1. Introducción 1
- 1.1. Simulación clínica . . . 1
  - 1.1.1. Tipos de simuladores . . . 2
  - 1.1.2. Ventajas y limitaciones de la Simulación clínica . . . 6
- 1.2. Motivación y objetivos . . . 7
- 1.3. Planificación . . . 8

2. Lesiones traumáticas graves 9
- 2.1. Tipos de Traumatismos . . . 10
- 2.2. Protocolos de actuación: fases prehospitalaria y hospitalaria . . . 12
- 2.3. Evaluación primaria: 'ABCDE' . . . 13
  - 2.3.1. A: Control de la Vía Aérea y estabilización de la columna . . . 14
  - 2.3.2. B: Respiración . . . 14
  - 2.3.3. C: Circulación y control de hemorragias . . . 14
  - 2.3.4. D: Déficit neurológico . . . 15
  - 2.3.5. E: Exposición . . . 15
- 2.4. Evaluación Secundaria . . . 15
  - 2.4.1. Traumatismo craneoencefálico (TCE) . . . 15
  - 2.4.2. Traumatismo torácico . . . 16
  - 2.4.3. Traumatismo abdominal . . . 16
  - 2.4.4. Traumatismo pélvico . . . 17
  - 2.4.5. Traumatismo de extremidades . . . 17

3. Desarrollo software del simulador **19**
3.1. Estado inicial del simulador web 19
3.2. Tecnologías utilizadas 21
3.3. Implementación de la línea temporal de evolución natural del paciente 22
3.4. Acciones y tratamientos para el manejo del trauma 24
3.5. Impacto de acciones simultáneas 29
3.6. Diferencias entre en el estado inicial y final de una simulación 32

4. Desarrollo e implementación de mejoras en el backend y en la base de datos **35**
4.1. Tecnologías utilizadas 35
4.2. Base de datos relacional 37
4.3. Validación de Datos 38
4.3.1. Registro 38
4.3.2. Nueva Simulación 40
4.4. Autenticación e Inicio de sesión 41

5. Validación del simulador **43**
5.1. Validación técnica 43
5.2. Validación de usabilidad 45

6. Conclusiones y líneas futuras **49**
6.1. Conclusiones 49
6.2. Líneas futuras 50

Bibliografía **51**

A. Aspectos sociales, económicos, éticos y ambientales **57**
A.1. Aspecto social 57
A.2. Aspectos económicos 57
A.3. Aspecto ético 57
A.4. Aspecto ambiental 58

B. Presupuesto económico **59**

C. Manual de Usuario **61**

D. Manual del Desarrollador **69**
D.1. Frontend 69
D.2. Backend 71

Índice de figuras

1.1. Simulador de punción lumbar 2
1.2. Paciente Estandarizado 3
1.3. Simulador web TruMonitor 4
1.4. EYESI: Simulador para prácticas de cirugía ocular. En la figura (a) se ven varios clínicos usando el simulador EYESI y en la figura (b) se ve el propio simulador 4
1.5. Leonardo HF simulador de paciente adulto 5

2.1. Distribución trimodal de la mortalidad en el trauma grave 9
2.2. Fratura de pelvis tipo A *(a)* y fractura de pelvis tipo B o C *(b)*. 12

3.1. Simulador web interactivo: estado inicial. 19
3.2. Simulador web interactivo: interfaz de una simulación. 21
3.3. Caso Clínico 1. 22
3.4. Simulación Caso Clínico 1 transcurridos 5 minutos. 24
3.5. Acciones relativas a la vía aérea y a la ventilación. 25
3.6. Efecto de acciones simultáneas sobre una constante vital según el orden de prioridad. 30
3.7. Ejemplo 2 acciones simultáneas: caso 1 31
3.8. Ejemplo 2 acciones simultáneas: caso 2 31
3.9. Ejemplo 2 acciones simultáneas: caso 3 32
3.10. Simulador web interactivo: estado inicial. 33
3.11. Simulador web interactivo: interfaz de una simulación. 34

4.1. Estructura simplificada de la base de datos. 37
4.2. Pantalla de registro del simulador web. 39
4.3. Nueva simulación: presión sistólica fuera de rango. 41
4.4. Botón de logout 42

5.1. Prueba Oxigenoterapia con gafas nasales 44
5.2. Pantalla tras realizar el inicio de sesión con el rol de estudiante. 46
5.3. Resultados medios de validación de la usabilidad: aprendizaje*(a)* y realismo *(b)*. 48
5.4. Resultados medios de validación de la usabilidad: Facilidad de uso . . . 48

C.1. Pantalla inicial del simulador: Registrarse. 62
C.2. Pantalla de registro del simulador. 62

C.3. Pantalla inicial del simulador: Iniciar sesión. 63
C.4. Pantalla principal tras el inicio de sesión con rol de estudiante. 63
C.5. Pantalla de selección de simulaciones en modo entrenamiento. 64
C.6. Pantalla de selección de simulaciones en modo entrenamiento: Entrar. 64
C.7. Pantalla de una simulación: Información del paciente. 65
C.8. Pantalla de una simulación: Start. 65
C.9. Pantalla de una simulación: partes principales. 66
C.10. Pantalla de una simulación: Resultadosd de las pruebas. 66
C.11. Pruebas complementarias: Interconsultas. 67
C.12. Pantalla de selección de simulaciones en modo entrenamiento: Descargar informe o Volver a entrenar. 67

D.1. Directorio *src* del frontend. 70
D.2. Directorio *src* del backend. 71

Índice de tablas

1.1. Resumen Ventajas y limitaciones de la simulación clínica 7

2.1. Escala del coma de Glasgow (GCS) 10

3.1. Acciones y técnicas médicas de tipo 1 con impacto en las constantes vitales. 26
3.2. Acciones y técnicas médicas de tipo 2 con impacto en las constantes vitales. 27
3.3. Acciones y técnicas médicas de tipo 3 con impacto en las constantes vitales. 27
3.4. Acciones y técnicas médicas de tipo 4 con impacto en las constantes vitales. 27
3.5. Acciones y técnicas médicas de tipo 5 con impacto en las constantes vitales. 28
3.6. Acciones y técnicas médicas de tipo 6 con impacto en las constantes vitales. 28
3.7. Diferencias entre en el estado inicial y final de la simulación. 34

5.1. Cuestionario de usabilidad: Sección 2 47
5.2. Cuestionario de usabilidad: Sección 3 47

B.1. Costes de personal. 59
B.2. Costes de recursos materiales. 60
B.3. Costes totales. 60

Lista de Acrónimos

HULP: Hospital Universitario La Paz.

BBDD: Bases de Datos.

TFG: Trabajo de Fin de Grado.

TCE: Traumatismo craneoencefálico.

GCS: Glasgow Coma Scale.

TA: Traumatismo Abdominal.

ATLS: Advanced Trauma Life Support.

TAC: Tomografía Axial Computerizada.

FAST: Focused Abdominal Sonography for Trauma.

AVID: A: Alerta, V: Responde a estímulos Verbales, D: Responde a estímulos Dolorosos, I: Inconsciente.

UCI: Unidad de Cuidados Intensivos.

API: Application Programming Interfaces.

HTML: HyperText Markuo Languaje.

CSS: Cascading Style Sheets.

DOM: Document Object Model.

SpO2 %: Saturación de Oxigeno.

FR: Frecuencia Respiratoria.

FC: Frecuencia Cardíaca.

TAS: Tensión Arterial Sistólica.

TAD: Tensión Arterial Diastólica.

NPM: Node Package Manager.

MVC: Modelo-Vista-Controlador.

API: Application Programming Interfaces.

HTTP: Hypertext Transfer Protocol.

SQL: Structured Query Languaje.

ORM: Object-Relational Mapping.

PK: Primary Key.

FK: Foreign Key.

CRUD: Create, Read, Update, Delete.

JWT: JSON Web Token.

JSON: JavaScript Object Notation.

Capítulo 1

Introducción

La realización de este Trabajo de Fin de Grado se ha llevado a cabo en colaboración con el Hospital Universitario La Paz (HULP) continuando con el desarrollo de un simulador clínico web interactivo para el entrenamiento de profesionales para el manejo del trauma grave.

El tratamiento de traumatismos graves requiere de una respuesta rápida junto con un buen conocimiento de los protocolos de actuación para que las lesiones del paciente no lleguen a ser permanentes o puedan ocasionarle la muerte. Mediante el simulador clínico interactivo se pretende poder seguir formando a los profesionales del ámbito clínico para poder entrenar la respuesta a este tipo de lesiones.

1.1. Simulación clínica

Un simulador es cualquier dispositivo o aparato que permite la reproducción de circunstancias reales propias de una actividad. Más en concreto, la simulación clínica permite la recreación de una situación médica hipotética, facilitando la participación de los alumnos, mezclando un aprendizaje práctico y teórico con la posibilidad de repetición, retroalimentación, evaluación y reflexión, con la ventaja de no causar daño al paciente [1].

La simulación en la educación médica ha supuesto un gran cambio a la hora de adquirir habilidades clínicas puesto que no se precisa del contacto real con el paciente, lo que favorece la seguridad y la posibilidad de adquirir una mayor destreza, disminuyendo la probabilidad de futuros errores o complicaciones al realizar determinados procedimientos. La gran diferencia con el método tradicional de enseñanza es que, en la enseñanza tradicional, es necesaria la supervisión en todo momento del alumno mientras mantiene contacto con el paciente real, sobre todo para evitar errores y mantener la integridad y seguridad del paciente. No obstante, mediante las simulaciones, el alumno tiene mayor libertad de actuación y la posibilidad de observar la evolución de las acciones que se están llevando a cabo, aprendiendo de sus errores con total seguridad, pudiendo rectificar y afianzar así los conocimientos [2].

1.1.1. Tipos de simuladores

Actualmente existen diversos tipos de simuladores relacionados con el área de la salud y diversas formas de clasificarlos. Una forma de hacerlo es según la complejidad y las tecnologías usadas en el simulador [3]:

- **Simuladores de baja tecnología**: son dispositivos de entrenamiento diseñados para una tarea en particular. Permiten a los alumnos, o profesionales, practicar de manera específica técnicas concretas tales como la intubación endotraqueal. Estos simuladores no suelen incorporar retroalimentación como puede ser el dolor al realizar el procedimiento que se está entrenando o los cambios que conlleva la maniobra concreta en las constantes vitales.

  Una de las ventajas de este tipo de simuladores es que permite validar la correcta realización de la técnica antes de llevarla a cabo en pacientes reales, ofreciendo la oportunidad a los alumnos de realizarla en los pacientes una vez la dominen [4].

Figura 1.1: Simulador de punción lumbar [5]

- **Pacientes simulados o estandarizados**: son personas entrenadas para simular, de forma estándar y de manera consistente, un cuadro clínico sin que el estudiante sea capaz de detectar si se encuentra frente a un paciente real o a una persona actuando. Durante la formación médica no todos los estudiantes pueden acceder a pacientes con las mismas patologías, por lo que, con este tipo de simulaciones se puede garantizar que, de manera programada, tengan contacto con pacientes con dichas afecciones [6].

Figura 1.2: Paciente Estandarizado [7]

- **Simuladores virtuales**: estos simuladores consisten en programas informáticos que permiten simular diversas situaciones, normalmente casos clínicos preestablecidos, para el entrenamiento y la posterior evaluación de las acciones llevadas a cabo en dicho caso clínico. En este tipo de simuladores, se suelen ver reflejados los cambios que conllevan la toma de decisiones y la aplicación de diferentes técnicas en las constantes vitales de un paciente virtual, por lo que no sólo se recibe una retroalimentación por parte del instructor a posteriori, sino que a lo largo de la simulación se ve el efecto que va teniendo en el paciente la manera de actuar del estudiante. Con este tipo de simuladores se puede obtener un mayor número de casos de entrenamiento que con los pacientes simulados, dando así la oportunidad a todos los estudiantes de realizar el mismo caso. Adicionalmente, este tipo de simuladores permiten cometer errores sin tener consecuencias reales en un paciente físico y proporcionan una retroalimentación acerca de las actuaciones llevadas a cabo lo que permite una evaluación objetiva de la actuación del estudiante. [8].

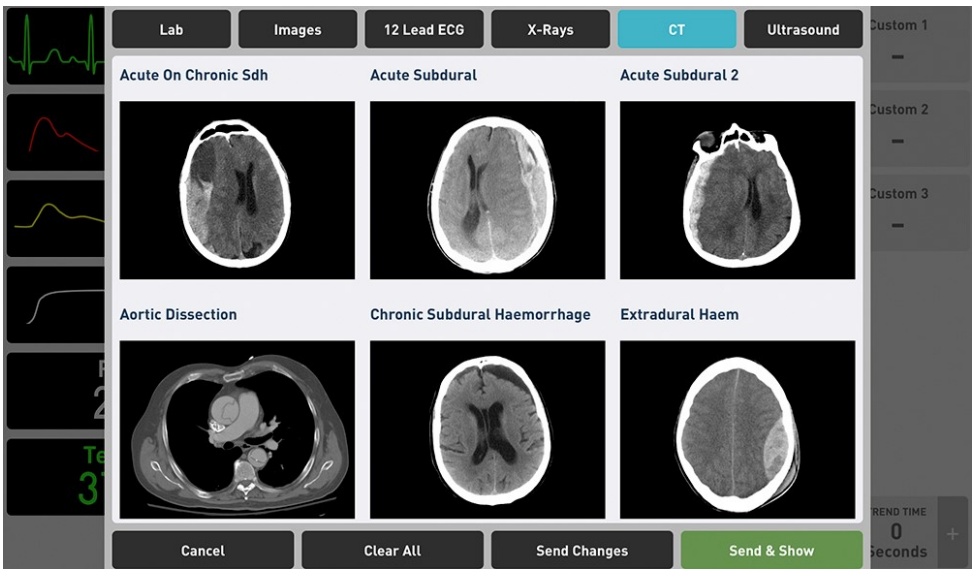


Figura 1.3: Simulador web TruMonitor [9].

- **Simuladores de tareas complejas**: estos simuladores se utilizan principalmente para el entrenamiento de procedimientos clínicos. Se usan dispositivos electrónicos computarizados y mecánicos con el fin de obtener una alta fidelidad visual, auditiva y táctil, logrando una representación realista y tridimensional de un espacio anatómico concreto. Pueden combinarse sistemas de realidad virtual con sistemas de tecnología háptica, sensibles al contacto y a la cantidad de presión realizada.

  Este tipo de simuladores suelen emplearse para técnicas más especializadas, pudiendo desarrollar habilidades de carácter manual, por ejemplo, gracias a programas de realidad virtual en tres dimensiones [8].

Figura 1.4: EYESI: Simulador para prácticas de cirugía ocular. En la figura (a) se ven varios clínicos usando el simulador EYESI y en la figura (b) se ve el propio simulador [10, 11].

- **Simuladores de paciente completo**: estos simuladores son maniquíes a tamaño real, robotizados y con un sistema informático que permite manejar diferentes situaciones fisiológicas y patológicas para recrear casos clínicos complejos similares a los que se pueden dar en la vida real. Estos simuladores son capaces de reproducir respiración, el pulso, los sonidos del corazón, los sonidos respiratorios, la producción de orina o la reacción de las pupilas. En modelos más avanzados, pueden llegar incluso a comunicarse con el alumno proporcionando respuestas concretas a las preguntas formuladas en el momento de la simulación.

  Pese a que la mayoría de estos simuladores son de adultos, también existen modelos pediátricos y lactantes. Gracias a la posibilidad de representar funciones cardíacas, vasculares y pulmonares, se pueden llegar a reproducir casos clínicos en los que los alumnos deben realizar una exploración completa del paciente, preguntarle información relevante, estudiar la situación clínica y actuar en consecuencia realizando las técnicas o acciones que requiere dicha situación.

  El software de este simulador no solo reproduce los casos clínicos del paciente, sino que también recoge y registra la información sobre los acontecimientos que se dan durante la simulación. Adicionalmente, se suele implantar un sistema de audio y vídeo que permite incluir otras herramientas multimedia que completan la experiencia. También se pueden solicitar pruebas complementarias como imágenes de radiología, electrocardiogramas, analíticas..., que no se ven directamente en el paciente, pero se le proporcionan al estudiante por otras vías [8].

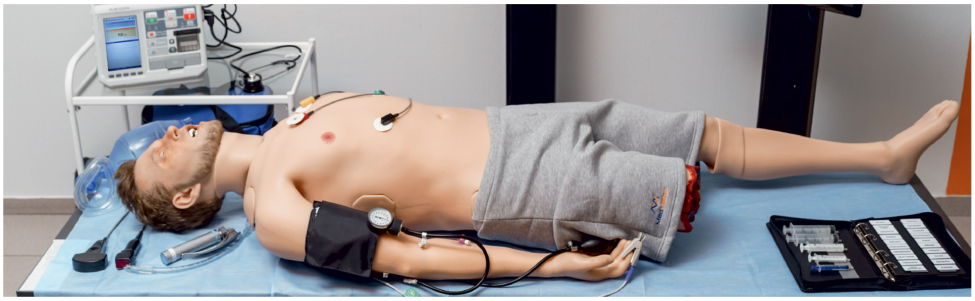


Figura 1.5: Leonardo HF simulador de paciente adulto [12]

1.1.2. Ventajas y limitaciones de la Simulación clínica

De manera general, los simuladores suelen tener las mismas ventajas [8, 13] y limitaciones [8, 14] aunque, según el tipo de simulador se puede ver algún punto modificado.

- A continuación se presentan las ventajas de los simuladores:

  1. Las simulaciones se realizan en un entorno seguro permitiendo practicar procedimientos invasivos sin riesgos para el paciente.
  2. Se pueden cometer errores y conocer las consecuencias de ellos. La observación del error facilita el aprendizaje fomentando la retención de conocimientos. Así mismo, se permite una práctica continua y repetitiva que favorece la integración de los distintos protocolos de actuación y técnicas a llevar a cabo.
  3. Permite una personalización del aprendizaje, planeando y desarrollando los casos clínicos en base al nivel de la persona que va a realizar la simulación, desde los casos más simples y/o comunes hasta los casos más complejos y/o poco habituales.
  4. Permite entrenar a un mayor número de estudiantes sobre el mismo caso clínico que la enseñanza tradicional.
  5. Ofrece la oportunidad de recibir retroalimentación de las acciones que se están llevando a cabo, así como el posterior análisis y reflexión de los procedimientos y las decisiones tomadas, fomentando la autocrítica y la mejora.
  6. Dan la posibilidad de mejorar las habilidades clínicas antes de enfrentarse al paciente real, evitando cometer errores procedimentales por falta de experiencia puesto que las técnicas adquiridas mediante la simulación pueden ser transferibles a la realidad.
  7. No solo se mejoran las habilidades clínicas sino que al mismo tiempo se puede, trabajando individualmente o en grupo, mejorar habilidades tales como el liderazgo, el control del estrés en situaciones críticas, la toma de decisiones y la coordinación de un equipo de profesionales.

- En cuanto a las limitaciones en los simuladores, se encuentran las siguientes:

  1. Debe haber un entrenamiento de los instructores y profesores para el manejo y la preparación tanto de las simulaciones como de los propios simuladores.
  2. Los costes de los simuladores, principalmente los de paciente completo, suelen ser elevados por lo que el crecimiento del uso de estos medios de aprendizaje se ve limitado por los recursos de la institución o escuela médica.

3. Otra desventaja es que, pese a intentar que las simulaciones sean lo más realistas posibles, hay aspectos de la realidad que no se pueden simular.
4. La respuesta aprendida en una simulación debe realizarse con cuidado, puesto que, a pesar de que la confianza adquirida durante la simulación es positiva, un exceso de esta puede llegar a ser contraproducente.
5. Algunos alumnos se pueden ver afectados por estrés y sentirse intimidados en la simulación al haber un tiempo determinado para realizarla y enfrentarse solos a una situación complicada.

Ventajas	**Limitaciones**
Entorno seguro	Entrenamiento de los docentes
Aprender de errores	Elevado coste
Personalización del aprendizaje	No completo realismo
Enseñanza estandarizada	Exceso de confianza por parte del alumno
Retroalimentación y reflexión	Estrés por parte de los alumnos
Aprendizaje de habilidades técnicas	
Aprendizaje de habilidades no técnicas	

Tabla 1.1: Resumen Ventajas y limitaciones de la simulación clínica

1.2. Motivación y objetivos

El propósito de este Trabajo de Fin de Grado, como se ha indicado anteriormente, es la mejora de un simulador web interactivo con el objetivo de formar a los profesionales clínicos, para enfrentarse a lesiones de trauma grave. Para llevar a cabo este propósito, se tratarán de alcanzar los siguientes objetivos:

1. Estudiar e implementar distintos casos clínicos con diferentes lesiones de trauma. Para ello se definirá la línea temporal de evolución natural del paciente con diferentes tipos de lesiones.
2. Estudiar e implementar las diferentes acciones para el manejo del control de las lesiones de trauma. Adicionalmente, se implementará el impacto de cada una de estas acciones y/o tratamientos en las constates vitales del paciente.
3. Implementar el impacto de acciones simultáneas del tratamiento al paciente, sobre constantes vitales.
4. Mejora de la interfaz de registro incluyendo la validación de los distintos datos introducidos en la misma.
5. Mejora de la BBDD.

6. Implementar sesiones en el simulador clínico.

7. Validación clínica del simulador web interactivo teniendo en cuenta todos los objetivos mencionados anteriormente.

1.3. Planificación

Para alcanzar los objetivos mencionados en el punto anterior, se han realizado las siguientes tareas que se desarrollarán en los distintos capítulos de este documento:

- El Capítulo 1 servirá como introducción a los simuladores, en concreto, a los simuladores en el ámbito clínico ya que es unos de los pilares sobre los que se apoya este TFG. Se explicará el concepto de simulador clínico, los tipos de simuladores en el ámbito médico que existen hoy en día y se presentarán las ventajas y limitaciones de estos.

- En el Capítulo 2 se desarrollará el segundo pilar de este TFG las lesiones traumáticas graves. Este capítulo se centrará en el estudio de estas lesiones y los diferentes protocolos de actuación.

- En el Capítulo 3 se explicará el desarrollo software llevado a cabo para implementar lo expuesto en los objetivos relacionados con el realismo de una simulación de este Trabajo de Fin de Grado. Primero, se realizará una introducción al simulador web interactivo en el que se basa este proyecto. Posteriormente, se detallarán los casos clínicos que se han usado, la implementación de la curva natural de evolución del paciente, así como las diferentes acciones incluidas y la implementación de su impacto en las constantes vitales del paciente. Esto último se implementará tanto de manera individual como simultánea.

- En el Capítulo 4 se expondrán los cambios realizados en el registro de la aplicación, en la base de datos y en el inicio de sesión de los usuarios.

- En el Capítulo 5 se analizarán las pruebas llevadas a cabo para validar el simulador desarrollado. Estas pruebas serán realizadas tanto por profesionales médicos como por personas con conocimiento técnico del simulador y del proyecto.

- Por último, en el Capítulo 6 se detallarán las conclusiones y las líneas futuras de este Trabajo de Fin de Grado.

Capítulo 2

Lesiones traumáticas graves

Las lesiones traumáticas son aquellas que se producen por accidentes o por sobrecarga de una parte del cuerpo afectando, principalmente, al sistema músculo-esquelético junto con otros órganos y tejidos [15]. Más en concreto, un traumatismo grave, es un traumatismo violento en el que el paciente presenta lesiones graves, y con frecuencia múltiples, alguna de las cuales supone un riesgo vital o la posibilidad de desarrollar una discapacidad, debido al evento traumático [16].

Según el manual de protocolos y actuación en urgencias del complejo hospitalario de Toledo [17], pese a la disminución de accidentes en los últimos años, la enfermedad traumática grave supone una de las principales causas de muerte y discapacidad en menores de 45 años. Esta mortalidad puede ser inmediata (50 %), precoz (30 %), o tardía(20 %), ver Figura 2.1.

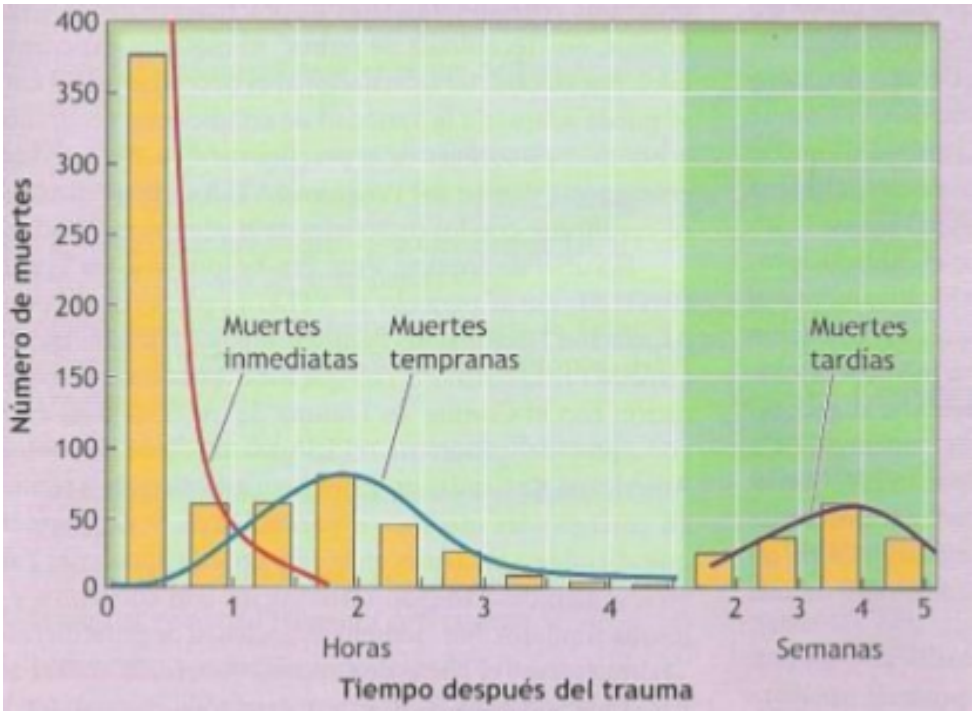


Figura 2.1: Distribución trimodal de la mortalidad en el trauma grave [18].

Este Trabajo de Fin de Grado se va a centrar en la fase precoz. En esta fase, los primeros minutos y horas son fundamentales. Los traumas con mortalidad en fase precoz son lesiones, a priori no mortales, pero que dejándolas evolucionar de manera natural pueden provocar la muerte del paciente. Es en este punto cuando intervienen los servicios de Urgencias, tanto en la fase prehospitalaria como en la hospitalaria [16].

2.1. Tipos de Traumatismos

Hay muchos tipos de traumatismos pero para este Trabajo de Fin de Grado sólo abordaremos los más graves que ponen en riesgo la vida del paciente, en especial, durante la fase precoz. Los traumatismos se pueden clasificar en función de la zona del cuerpo afectada:

- **Traumatismo craneoencefálico (TCE)**: es aquel que deriva de cualquier golpe o lesión recibida en la región craneal o facial. En estos casos, y dado que el cráneo es la estructura ósea que envuelve al encéfalo [18], es de vital importancia prevenir una lesión cerebral. Para los pacientes con TCE, su severidad se clasifica según la Escala de Coma de Glasgow (GCS). Esta se utiliza para realizar la valoración neurológica del paciente y determinar el nivel de conciencia del mismo. Dependiendo de cómo sea la respuesta motora, verbal y ocular del paciente, se puntúa el nivel de conciencia de 3 a 15 puntos siendo 3 el estado más grave y 15 el menos grave. Como se puede apreciar en la Tabla 2.1, cada una de las respuestas: motora, verbal y ocular, se puntúan de manera individual y posteriormente se suman, obteniendo así el nivel de conciencia del paciente.

  Si el paciente presenta una puntuación de GCS entre 14 y 15 tras sumar las puntuaciones de las tres respuestas, se considera que el paciente sufre un TCE leve; con una GCS entre 13 y 9 sería moderado; Finalmente un paciente con GCS entre 8 y 3 se consideraría que sufre un TCE grave.

  Su etiología más común son los accidentes de tráfico ocurriendo un 75 % de los casos, seguido de las caídas y agresiones. El 80 % de estos son considerados leves, el 10 % moderados y el otro 10 % graves [17].

Puntuación	Respuesta motora	Respuesta verbal	Apertura ocular
6	Obedece órdenes		
5	Localiza dolor	Coherente	
4	Retira extremidades	Desorientada	Espontánea
3	Decorticación	Palabras inapropiadas	A la llamada
2	Descerebración	Palabras incomprensibles	Al estímulo doloroso
1	Nula	Nula	Nula

Tabla 2.1: Escala del coma de Glasgow (GCS) [17].

- **Traumatismo torácico**: este tipo de lesiones se producen a nivel de la caja torácica y pueden llegar a afectar a pulmones, estructuras óseas como las costillas o el esternón, a importantes vasos sanguíneos intratorácicos o incluso al corazón [17]. La mayor parte de las complicaciones debidas a un traumatismo torácico se producen porque la respiración, la circulación o ambas se ven comprometidas [19].

  En el caso de la respiración, puede ser tanto por un daño directo a los pulmones como a las vías respiratorias.

  En el caso de la circulación, puede deberse a una hemorragia, a la disminución del retorno venoso o a una lesión cardiaca directa.

  Los traumatismos torácicos pueden clasificarse en abiertos o cerrados según exista o no discontinuidad en la pared torácica. Su etiología más frecuente son los accidentes de tráfico [17].

- **Traumatismo abdominal (TA)**: son lesiones que se producen en la zona abdominal como consecuencia de un trauma. Estas lesiones pueden afectar a la pared abdominal, a órganos sólidos como pueden ser el hígado, el bazo o los riñones, a vísceras huecas como el estómago o el intestino delgado, y a vasos sanguíneos [20].

  El 60 % de este tipo de traumatismos son originados por accidentes de tráfico [17].

  En términos generales, podemos clasificar los TA en dos grupos según la naturaleza de estas lesiones [17]:

  - **Traumatismo abdominal abierto o penetrante**: se observa una herida externa en la zona abdominal. Normalmente son causados por armas blancas u objetos similares o por armas de fuego. El daño de estas lesiones abarca desde laceraciones o cortes hasta lesiones graves y más profundas que pueden llegar a afectar a órganos vitales[21].
  - **Traumatismo abdominal cerrado**: estos traumatismos no presentan lesiones externas. Son provocados sobre todo por accidentes de tráfico. Las lesiones son causadas por aceleración-desaceleración o compresión, lesionándose por lo general el bazo (40- 55 % de las veces), el hígado (35-45 %), el retroperitoneo que es la región visceral abdominopélvica (15 %) y el intestino delgado (5-10 %) [17].

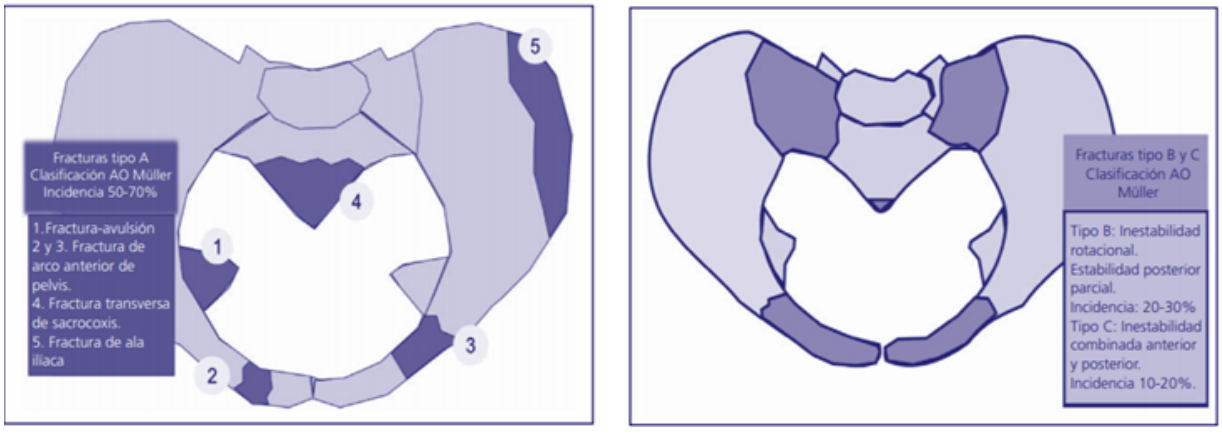
- **Traumatismo pélvico** o fractura de pelvis: son lesiones ocasionadas por fracturas potencialmente graves en las que el tipo de lesión y su intensidad, determinan el nivel de los problemas médicos derivados y el nivel de mortalidad [17].

  En cuanto a la etiología de las fracturas pélvicas suelen ser causadas por accidentes de tráfico o caídas desde una altura considerable[22]. También pueden deberse a caídas domésticas, sobre todo en pacientes de avanzada edad con osteoporosis.

  Al igual que otros traumatismos, las fracturas pélvicas se pueden clasificar según la energía del impacto que reciben:

- **Traumatismos pélvicos de baja energía**: son fracturas aisladas que no alteran la integridad del anillo pélvico y por lo tanto son fracturas estables [17]. Como se muestra en la Figura 2.2 (a), a estas fracturas también se las conoce como fracturas tipo A.
- **Traumatismos pélvicos de alta energía**: son fracturas que conllevan una rotura del anillo pélvico. En estos casos, aumenta de manera exponencial la presencia de lesiones neurovasculares y/o de órganos intraabdominales llegando a verse comprometida la vida del paciente [17].

  Por lo general, las lesiones pélvicas suelen estar acompañadas por hemorragias que requieren de protocolos especializados de fijación externa, como un cinturón pélvico, para poder manejar la fractura mediante la estabilización no invasiva de la pelvis y controlar la hemorragia [21]. Como se muestra en la Figura 2.2 (b), a estas fracturas también se las conoce como fracturas tipo B o C según si hay inestabilidad parcial o completa inestabilidad.



(a) *(b)*

Figura 2.2: Fractura de pelvis tipo A *(a)* y fractura de pelvis tipo B o C *(b)*. [17]

- **Traumatismos de extremidades**: pese a que en un politraumatismo las lesiones en extremidades son las más frecuentes[23], en este Trabajo de Fin de Grado sólo se tendrán en cuenta los traumatismos de extremidades que pongan en riesgo la vida del paciente o la viabilidad del miembro afectado. Para esto, se deben ver afectados al menos tres de sus cuatro componentes básicos [24]: vasos sanguíneos, nervios, huesos y tejidos blandos(músculos, tendones grasa...)

2.2. Protocolos de actuación: fases prehospitalaria y hospitalaria

Al sufrir un traumatismo grave es primordial una atención rápida y coordinada por parte de los servicios médicos, tanto en la fase de atención prehospitalaria como en la hospitalaria.

La atención prehospitalaria está compuesta por los servicios de atención médica y traslado del paciente en estado crítico que se encuentra fuera de del hospital. Es el paso anterior al tratamiento del paciente en el servicio de urgencias del hospital. El objetivo principal es el trasladar al paciente al lugar más indicado para su patología y durante el desplazamiento realizar una serie de actividades médicas con el material disponible para la reanimación y/o el soporte [25]. Estás acciones médicas consisten en inmovilizar al paciente para no empeorar las fracturas inestables, realizar una primera evaluación de las lesiones posibles o comprobadas e intentar estabilizar las constantes vitales alteradas.

En la atención hospitalaria se realizarán todos los pasos de la atención prehospitalaria, en caso de no haberla habido, junto con un diagnóstico y tratamiento exhaustivo de las lesiones del paciente. En caso de que sí que haya habido una fase prehospitalaria, se comprobaran las medidas adoptadas en esta fase, en concreto las relacionadas con las vías de acceso vasculares y las vías respiratorias[26].

En cualquiera de los dos casos, siempre se realizará primero una evaluación primaria mediante algún protocolo preestablecido. Pese a que en España no existe un protocolo de obligado cumplimiento, en la mayorá de centros hospitalarios se sigue una atención sistematizada similar a los protocolos de actuación que se imparten en el curso ATLS (Advanced Trauma Life Support) del Colegio Americano de Cirujanos.

El ATLS es un programa de atención inicial al enfermo politraumatizado que pone de manifiesto la importancia que tiene la evaluación y el tratamiento del paciente aprendiendo a gestionar tanto la evaluación primaria como la secundaria.

En cuanto a la evaluación primaria, se propone un método sencillo, fácil de recordar, en el que se realiza una evaluación del paciente rápida y minuciosa. Este método es conocido como 'ABCDE' y se explicará más adelante[27].

2.3. Evaluación primaria: 'ABCDE'

El paciente que sufre un trauma grave debe ser tratado en la mayor brevedad de tiempo puesto que, después de la primera hora, las posibilidades de que se recupere por completo disminuyen drásticamente[17]. Para ello, es importante realizar una evaluación primaria rápida y sistemática. Posteriormente, se llevará a cabo una evaluación secundaria mediante protocolos más especializados según el tipo de lesión [28].

Esta primera evaluación, como ya se ha comentado, debe realizarse lo más rápido posible, tratando de manera prioritaria las lesiones que se consideran una amenaza para la vida del paciente [29].

Como se ha mencionado en la sección anterior, para la evaluación primaria de traumatismos graves, suele llevarse a cabo mediante el protocolo ABCDE que comprende los siguientes pasos o etapas [28, 30].

2.3.1. A: Control de la Vía Aérea y estabilización de la columna

La vía aérea es la prioridad, para ello, se debe establecer y/o mantener la permeabilidad de esta, el control cervical y la administración de oxígeno.

El primer paso es comprobar si la vía aérea del paciente está obstruida, para llevar esto a cabo se realiza una elevación del mentón y se comprueba la ausencia de cuerpos extraños o de posibles fracturas que puedan obstruirla. En pacientes conscientes, con respuesta verbal espontánea, la vía aérea está permeable y la ventilación intacta. Sin embargo, en pacientes inconscientes o con disminución del nivel de consciencia, será necesaria la intubación.

Por otra parte, en todos los pacientes con trauma e inconscientes, se debe sospechar de una lesión en la columna hasta que sea completamente descartada. Como medida preventiva hay que asegurarse de que el cuello se mantiene, de manera manual, en la posición neutral durante la apertura de la vía aérea y mantener la columna protegida de movimientos innecesarios que puedan ocasionar más daños.

2.3.2. B: Respiración

Una vez controlada la vía aérea, se debe asegurar una buena oxigenación del paciente. Primero se debe comprobar si el paciente está respirando, de no ser así, la evaluación se detiene y se le administrará ventilación de manera inmediata.

En caso de estar respirando, se evalúa la frecuencia y la profundidad de la respiración para descartar lesiones graves que deban ser tratadas en ese momento como por ejemplo un neumotórax.

2.3.3. C: Circulación y control de hemorragias

En esta etapa, lo principal es el tratamiento de las hemorragias graves ya que pueden provocar la muerte del paciente.

Lo primero será tratar las hemorragias externas graves mediante compresión local, torniquete, o intentando ligar el vaso sangrante si este está visible y se dispone del material necesario. Posteriormente se plantea la existencia de una hemorragia interna. Para evaluar si existen pérdidas se analizan diferentes parámetros con los que poder intuir la presencia de hemorragia interna y su gravedad. En primer lugar, se evalúa el pulso del paciente junto con la tensión arterial. Después se analiza el tiempo de llenado capilar realizando presión sobre las uñas y comprobando que el tiempo de vuelta a su estado natural no sea superior a 2 segundos; también se analiza el color de la piel ya que tonos azulados o pálidos pueden indicar oxigenación incompleta o poca perfusión sanguínea. Junto a estos parámetros, también se analizarán otros como la temperatura o la diuresis.

2.3.4. D: Déficit neurológico

El estado neurológico de un paciente puede ser evaluado mediante el nivel de conciencia, la aplicación de un estímulo y las pupilas.

Cuando el paciente presenta una disminución del nivel de conciencia puede deberse a una hipoxia o a una lesión en el sistema nervioso central entre otros, debiendo tomar medidas inmediatas más especializadas, empezando por la realización de pruebas más concretas.

En cuanto a la evaluación neurológica de un paciente mediante un estímulo, se describe la respuesta del paciente mediante el acrónimo AVID: A: Alerta, V: Responde a estímulos Verbales, D: Responde a estímulos Dolorosos, I: Inconsciente.

Por último, el estado de las pupilas es muy importante para la evaluación de la función cerebral debiendo tener el paciente las pupilas iguales, redondas y reactivas a la luz para que su respuesta neurológica sea satisfactoria.

2.3.5. E: Exposición

Dado a que no se puede evaluar correctamente a un paciente con ropa, es necesario desvestir al paciente para encontrar todas las lesiones, hemorragias y erupciones. Además de quitarle la ropa, se deberá dar la vuelta al paciente para examinar el cuerpo entero.

Una vez se haya examinado al paciente por completo, volverá a cubrirse para evitar la pérdida de calor corporal mediante una manta térmica o similar.

2.4. Evaluación Secundaria

La evaluación secundaria se lleva a cabo una vez se ha completado la evaluación primaria.

En esta evaluación se realiza un examen completo buscando lesiones que supongan una amenaza para la vida del paciente. Según el tipo de lesiones que presente el paciente se realizarán diferentes acciones.

Como se ha mencionado anteriormente, en España no existe un protocolo único de actuación, pero al igual que el ABCDE en la evaluación primaria, en la evaluación secundaria se lleva a cabo un protocolo según el tipo de trauma grave como se verá a continuación[31].

2.4.1. Traumatismo craneoencefálico (TCE)

Si un paciente presenta un traumatismo craneoencefálico y tras evaluar que el paciente se encuentra estable en la evaluación primaria, se realizará una evaluación neurológica más exhaustiva.

Si el paciente presenta algún factor de riesgo como pueden ser un nivel de conciencia menor de 15 en la GSC o la sospecha de una fractura craneal, se procederá a la realización de un TAC. En caso de no verse una lesión intracraneal, se dará de alta al paciente si se observa una estabilidad neurológica. En caso contrario, se realizará una interconsulta a Neurocirugía para que evalúe de nuevo al paciente [17].

2.4.2. Traumatismo torácico

En caso de que un paciente presente un traumatismo torácico grave hay que tener en cuenta que las lesiones de compromiso vital inmediato se tratarán de manera prioritaria durante la realización de la evaluación primaria, tales como pueden ser un neumotórax abierto o un hemotórax masivo.

En la valoración secundaria se tratarán otras lesiones torácicas potencialmente letales.

Se realizarán estudios por imágenes, principalmente una radiografía de tórax en busca de contusiones pulmonares, infiltrados pulmonares, neumotórax o derrame pleural.

También se realizará una valoración de posibles fracturas costales y en caso de ser necesario se realizará un TAC al paciente para visualizar las lesiones por medio de imágenes transversales[19].

2.4.3. Traumatismo abdominal

Al presentar un paciente este tipo de traumatismo, de manera general, se evaluará la lesión intraabdominal mediante la realización de pruebas como ecografías o TAC, también se le podrá realizar una radiografía de tórax en busca de aire libre bajo el diafragma, lo cual indicará la perforación de una víscera.

El método seleccionado para detectar lesiones intraabdominales varía según el mecanismo de lesión[20]:

- **Traumatismo abdominal penetrante**: no sondear a ciegas con un elemento contundente como puede ser la yema del dedo dado que, si el peritoneo ha sido perforado, el sondeo puede causar daños mayores.

  En caso de ser herida por arma blanca, de manera general, se administra anestesia local para abrir lo suficiente la herida y permitir la visualización completa de todo el tracto. La laparotomía exploratoria solo se realiza en caso de que el paciente desarrolle inestabilidad hemodinámica.

  Para heridas de bala, suele realizarse una laparotomía exploratoria.

- **Traumatismo abdominal no penetrante**: los pacientes con traumatismo múltiple deben tener pruebas abdominales para verificar la ausencia de un traumatismo abdominal no penetrante. Entre estas pruebas se encuentran:

- *Ultraecografía o FAST*: su objetivo principal es descartar que haya líquido anormal en el pericardio o líquido libre intraperitoneal.
- *TAC*: para la prueba se administra un contraste con el se pueda observar más claramente el líquido libre y las posibles lesiones en los diferentes órganos.

2.4.4. Traumatismo pélvico

Tras la evaluación primaria del paciente, se debe realizar una inspección completa de la zona lesionada en busca de la presencia de una fractura abierta, deformidad en miembros inferiores o presencia de hematoma peritoneal y así poder valorar la estabilidad de la pelvis. Posteriormente se realizarán radiografías desde diferentes ángulos para comprobar la gravedad de las lesiones.

Para clasificar mejor el tipo de fractura se puede realizar un TAC. En el caso de que la fractura sea estable y se hayan descartado otras lesiones, al paciente se le administrarán analgésicos y reposo durante varias semanas. Por otro lado, si la fractura es inestable se tendrá en cuenta la estabilidad del paciente tras la valoración primaria (ABCDE). Si el paciente se encuentra estable se procederá a su ingreso en la UCI (Unidad de Cuidados Intensivos), además se le realizarán pruebas complementarias como pueden ser el TAC abdominal o una analítica junto con un manejo definitivo de las fracturas y lesiones asociadas. Si el paciente no se encuentre estable, se realizará una estabilización no invasiva o fijación externa junto a otras medidas necesarias como sueroterapia o transfusión, también se llevarán a cabo pruebas complementarias como por ejemplo una FAST. Después de esto se procederá al ingreso del paciente en la UCI [17, 22].

2.4.5. Traumatismo de extremidades

Después de que el paciente haya pasado la evaluación primaria, se realizará una exploración de las extremidades afectadas prestando atención al daño vascular, neurológico, óseo y de tejidos blandos.

En caso de que el paciente sea hemodinámicamente estable, se realizará también una valoración radiológica con al menos dos imágenes donde poder ver el alcance de las lesiones y el tratamiento a realizar. Para el caso contrario, lo principal será controlar la hemorragia con un torniquete o mediante compresión de la zona[17, 24].

Capítulo 3

Desarrollo software del simulador

El propósito de este Trabajo de Fin de Grado es la mejora de un simulador web interactivo ya existente con el objetivo de formar a profesionales clínicos para enfrentarse a lesiones de trauma grave. Este simulador les permitirá practicar los protocolos de actuación a llevar a cabo según el tipo de situación a la que se enfrenten.

En este Capítulo se van a explicar los desarrollos llevados a cabo a nivel de software en el simulador web, para conseguir que el simulador web interactivo cumpla con el objetivo de formar al personal clínico.

3.1. Estado inicial del simulador web

El simulador clínico web interactivo, sobre el que se sustenta este proyecto, se empezó a diseñar y desarrollar en el año 2020. En esta sección, se comentará el estado inicial del mismo que puede verse en la Figura 3.1, para, posteriormente, ver de manera detallada los cambios y mejoras llevados a cabo en este Trabajo de Fin de Grado.

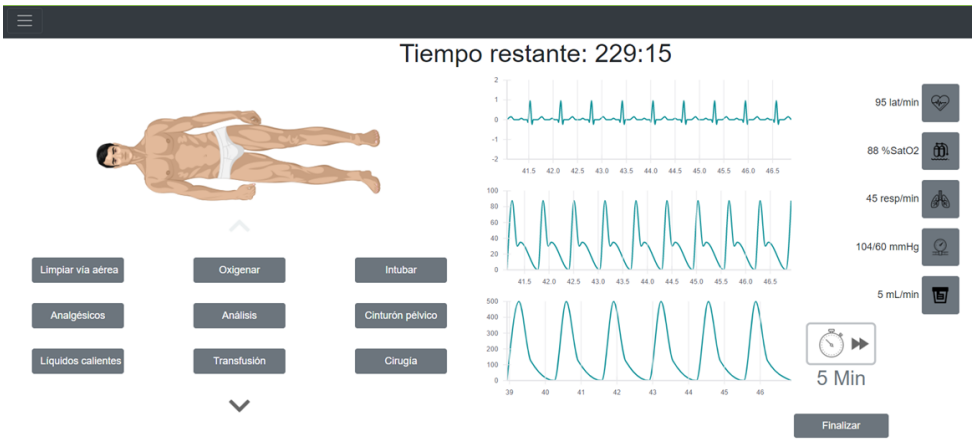


Figura 3.1: Simulador web interactivo: estado inicial.

El simulador clínico web mencionado es una aplicación web formada por:

- **Frontend**: es la parte visual del simulador con la que el usuario interactúa [32]. Se basa en React, una librería de JavaScript que facilita la creación de interfaces web interactivas. En la siguiente sección se profundiza en las tecnologías utilizadas en el frontend.

- **Backend**: es la parte lógica del simulador. Se basa en un servidor creado en Express, que es un framework de Node.js, personalizado para el simulador y sus APIs [33].

- **Base de datos**: almacena los datos utilizados y generados por el simulador. Se basa en MySQL que es un sistema de administración de bases de datos relacionales a través de un modelo cliente-servidor. [34].

Tanto las tecnologías empleadas en el backend como las empleadas en la base de datos, se desarrollarán en el Capítulo 4.

En el simulador clínico web interactúan dos tipos de usuarios, un instructor encargado de crear los casos clínicos y un estudiante que se enfrenta a dichos casos, actuando como si se tratase de un caso clínico real. En las simulaciones se emula a un paciente virtual representado por un maniquí el cual se puede observar en la Figura 3.1 que presenta un caso específico de enfermedad traumática. Se pueden observar también, a la derecha de la interfaz, el conjunto de gráficas y datos que representan un monitor de constantes vitales. Debajo del maniquí hay un conjunto de acciones que, al ser seleccionadas, tendrán repercusión en el paciente virtual. Por último, se observa en la esquina inferior derecha un botón que permite adelantar 5 minutos el tiempo restante de la simulación y así poder ver el impacto que un determinado tratamiento o acción tiene en el paciente.

Adicionalmente, durante la simulación se irán registrando tanto las acciones realizadas por el estudiante como la variación de las constantes vitales del paciente virtual. A su vez, se irá recogiendo toda esa información para generar, posteriormente, un informe que permitirá al estudiante ver lo que ha ido ocurriendo a lo largo de la simulación.

Dado que la evolución de las constantes vitales y el impacto de las acciones y tratamientos que había como punto de partida no eran del todo realistas, la misión principal de este Trabajo de Fin de Grado será recrear la evolución real de las constantes vitales de un paciente con lesiones traumáticas graves y el impacto que tienen acciones y tratamientos concretos sobre las mismas. Esto hará que la herramienta pueda recrear casos simulados que se parezcan lo más posible a la realidad.

En la Figura 3.2 se puede apreciar el estado actual de la interfaz de una simulación. En las siguientes secciones se desarrollarán los cambios realizados.

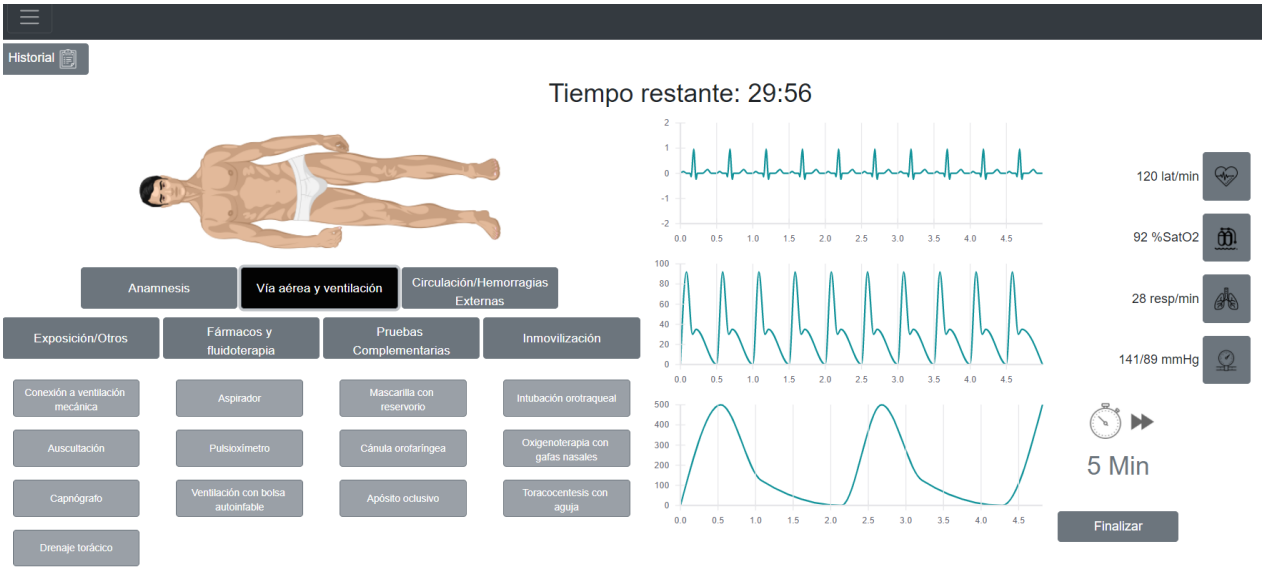


Figura 3.2: Simulador web interactivo: interfaz de una simulación.

3.2. Tecnologías utilizadas

Como se ha comentado anteriormente, este Capítulo se centra en el frontend de la aplicación. Tanto el simulador inicial como el obtenido en este Trabajo de Fin de Grado emplean las siguientes tecnologías en el frontend:

- **Javascript:** es un lenguaje de programación para crear web dinámicas. No necesita compilador puesto que es el navegador el que compila el código [35]. A parte de desarrollar el frontend de la aplicación, también puede diseñar el backend. Para realizar las funciones llevadas a cabo por Javascript se emplean diversas librerías y entornos. En el simulador encontramos React en el lado el frontend y el framework Express en el lado del servidor, ambas englobadas por Node.js. Tanto Express como Node.js se desarrollará en la sección 4.1 del Capítulo 4

- **HTML:** (HyperText Markup Language) es un lenguaje de marcado que permite crear y estructurar elementos de una página web. HTML permite que mediante etiquetas o marcas de hipertexto se organicen los contenidos de una página web, por ejemplo, párrafos, secciones o encabezados [36].

- **CSS:** (Cascading Style Sheets) es un lenguaje de estilos utilizado para presentar los documentos HTML. CSS determina como debe ser renderizado cada elemento estructurado en la página web [37].

- **React:** es una librería JavaScript que se implementa para el desarrollo de interfaces interactivas mediante componentes. React básicamente permite desarrollar aplicaciones web grandes y complejas que pueden ir actualizando sus datos sin necesidad de cargar la página de nuevo. Lo que consigue es facilitar

un desarrollo sencillo, eficaz y robusto de la aplicación mediante la abstracción del DOM (Document Model Object) [38].

El DOM es una representación de la interfaz gráfica de la aplicación, por lo que, al modificarse la interfaz, el DOM se actualiza. Dado que tiene estructura de árbol, al actualizarse un elemento, se actualizarán todos sus elementos hijos. React, para optimizar esto, genera un DOM virtual cada vez que se produce un cambio en algún elemento de la interfaz. Este DOM virtual, lo compara con el DOM real y solo actualiza aquellos elementos del DOM en los que ha detectado cambios [39].

3.3. Implementación de la línea temporal de evolución natural del paciente

Para poder reproducir la evolución de las constantes vitales de un paciente que sufre un trauma grave, el HULP nos proporcionó 4 casos clínicos.

La línea temporal de evolución natural representa la evolución de las constantes vitales de un paciente durante un periodo determinado de tiempo, sin llevar a cabo ninguna técnica o acción médica para estabilizarle o para mejorar su estado.

La Figura 3.3 presenta el caso clínico 1. Lo primero que se proporciona es un breve resumen del accidente ocurrido y detalles básicos del paciente como su edad, el estado de consciencia en el que se encuentra y en qué zona siente dolor.

CASO CLÍNICO 1	Unidad de Soporte Vital Avanzado Medicalizada. Reciben 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 – región suprapúbica.

LÍNEA TEMPORAL DE EVOLUCIÓN NATURAL DEL CASO SI NO SE TOMASE NINGUNA MEDIDA TERAPÉUTICA

>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> **FIN: A los 30 minutos**

INICIO 0'	
SpO2%	98%
FR	26
FC	110
TAS	141
TAD	89

Minuto 5	
SpO2%	96%
FR	30
FC	120
TAS	133
TAD	81

Minuto 15	
SpO2%	90%
FR	41
FC	135
TAS	110
TAD	65

Minuto 22	
SpO2%	85%
FR	15
FC	121
TAS	75
TAD	52

Minuto 30	
SpO2%	81%
FR	9
FC	63
TAS	61
TAD	42

ÁREA	FRASE	EFECTO EN EL CASO
DIÁLOGOS	¿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? ¿Sientes cómo te toco?	Sí, si te siento. (Mueve ambos pies).

Figura 3.3: Caso Clínico 1.

Posterioremente se encuentra la línea temporal de evolución natural con la evolución de las constantes vitales en función del tiempo transcurrido.

Las constantes vitales relevantes para los casos clínicos y, por lo tanto, para el desarrollo de la aplicación son:

- SpO2 %: es la saturación de oxígeno, mide la cantidad de oxígeno que transporta la sangre en comparación con su capacidad total.
- FR: es la frecuencia respiratoria, mide el número de veces que el paciente respira por minuto.
- FC: es la frecuencia cardíaca, mide los latidos por minuto del corazón.
- TAS: es la tensión arterial sistólica, mide la presión arterial cuando el corazón se contrae.
- TAD: es la tensión arterial diastólica, mide la presión arterial cuando el corazón se relaja.

Inicialmente se analizó la evolución de cada una de estas constantes vitales por separado en cada uno de los intervalos temporales destacados en el caso clínico. Como se puede observar en la Figura 3.3, hay cuatro intervalos, cada uno de una duración distinta y con una evolución particular de cada constante vital que determinará el número de puntos por minuto que sube o baja cada una. Tal y como se comentó en el Capítulo 2, para la atención de pacientes con lesiones traumáticas graves, son de suma importancia los primeros minutos. Así pues, se decidió por parte del personal clínico establecer que 30 minutos fuese el tiempo máximo de duración de cada simulación.

Una vez definidos los intervalos temporales y los puntos por minuto que aumentan o disminuyen cada una de las constantes vitales para cada intervalo, se procede a la implementación de la línea temporal de evolución natural del paciente en caso de que no se realice ninguna acción médica. En la Figura 3.4, se pude apreciar el estado de las constantes vitales del paciente pasados 5 minutos que coincide con lo establecido en la Figura 3.3 en el minuto 5.

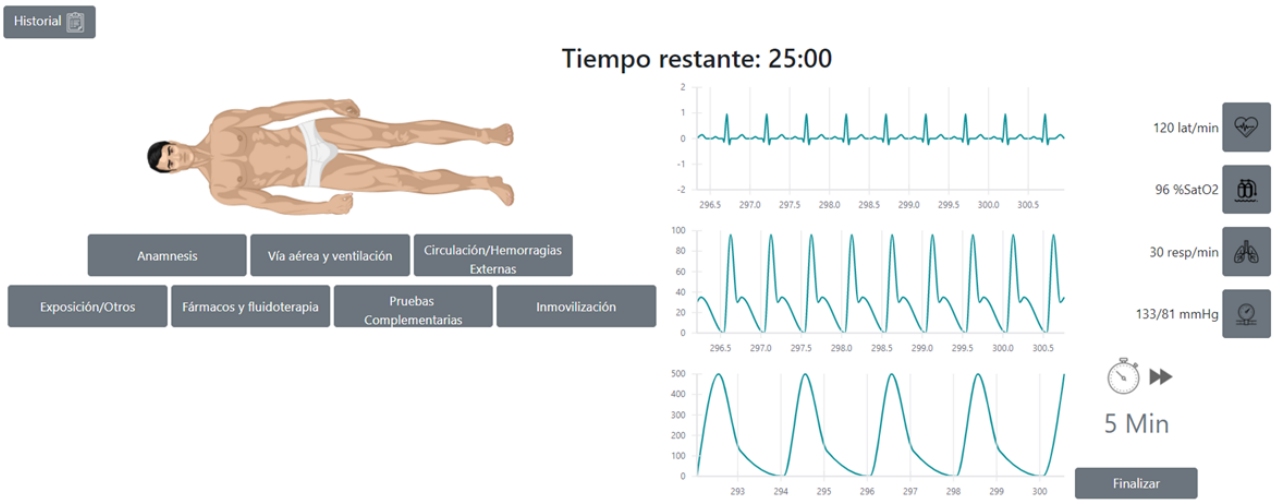


Figura 3.4: Simulación Caso Clínico 1 transcurridos 5 minutos.

Para terminar con la completa implementación de esta línea temporal de evolución natural, hay que tener en cuenta cómo se modifican las constantes vitales al pulsar el botón de adelantar 5 minutos el tiempo. Para ello, se analiza el tiempo inicial en el que se pulsa el botón y el tiempo en el que termina pasados 5 minutos del tiempo de la simulación. De esta manera se analiza cuánto tiempo pasa en cada intervalo, obteniendo el número de puntos que aumentan o disminuyen cada una de las constantes vitales tras pulsar el botón y, por tanto, el valor de estas constantes vitales. Por ejemplo, si se pulsa el botón de adelantar 5 minutos cuando llevamos 3 minutos de simulación, la simulación avanza hasta el minuto 8. Para ello, habrá que tener en cuenta que desde el minuto 3 hasta el minuto 5 las constantes vitales se modifican según el primer intervalo del caso clínico, y que del minuto 5 al minuto 8 las constantes se modifican de acuerdo con el intervalo 2 del caso clínico.

La implementación de la línea temporal de evolución natural de un paciente en el caso de que no se tome ninguna medida terapéutica es fundamental para que el simulador clínico sea lo más realista posible y los profesionales médicos observen una evolución de las constantes vitales coherente con el trauma que presenta el paciente. Esta línea temporal de evolución es la base para el desarrollo de la simulación ya que la evolución de las constantes vitales determina el estado del paciente y, por lo tanto, qué acciones habrá que realizar para mejorar su estado y conseguir estabilizarle.

3.4. Acciones y tratamientos para el manejo del trauma

Tanto en el simulador web inicial como en el resultado de este Trabajo de Fin de Grado, se pueden señalar dos tipos principales de acciones a realizar durante la simulación: las acciones y/o tratamientos que conllevan una variación en las constantes vitales y las acciones que no afectan a las constantes vitales del paciente.

Como se detallará más adelante en este Capítulo, en la Figura 3.5, se puede ver que en el estado actual del simulador, las acciones que se pueden realizar durante la simulación para el tratamiento del paciente se encuentran clasificadas en 7 grupos:

- Anamnesis
- Vía aérea y Ventilación
- Circulación/ Hemorragias Externas
- Exposición/ Otros
- Fármacos y Fluidoterapia
- Pruebas Complementarias
- Inmovilización

Esta clasificación de las acciones se realiza para facilitar a los profesionales médicos la búsqueda de la acción o técnica que desean realizar. Dentro de cada grupo encontrarán diferentes acciones las cuales podrán tener impacto en las constantes vitales o no.

Figura 3.5: Acciones relativas a la vía aérea y a la ventilación.

En el caso clínico 1 que se mostraba en la Figura 3.3, tras la línea temporal de evolución del paciente se muestran una serie de preguntas y respuestas que se realizarán al paciente virtual. Estas preguntas no conllevan un cambio en las constantes vitales del paciente, y se le realizan al paciente para completar su historial clínico y tener en cuenta si hay determinadas acciones o tratamientos que no se le deberán suministrar. Por ejemplo, si presenta alergia a algún tipo de medicamento. Estas preguntas se encontrarán en el grupo de acciones denominados Anamnesis.

En las siguientes secciones de este Capítulo, se explicará el desarrollo de las acciones que sí tienen un impacto en las constantes vitales del paciente y cómo se han implementado.

Para llevar a cabo una correcta implementación del impacto en las constantes vitales del paciente, lo primero es estudiar las acciones y tratamientos y agruparlas. Esta agrupación se realiza para identificar y separar las acciones según la manera en la que afectan a las constantes vitales y facilitar su implementación. Las acciones se agrupan en seis tipos según la manera en la que afectan a las constantes vitales. Dado que hay acciones que afectan a varias constantes vitales a la vez, pero de diferente manera, la misma acción puede estar presente en más de uno de los seis tipos definidos. A continuación, se explican los distintos tipos de acciones que se han creado:

- **Acciones de tipo 1**: son acciones que provocan la subida o la bajada de una constante vital un número determinado de puntos por minuto durante un tiempo determinado. Una vez transcurrido este tiempo, la evolución de esa constante vital vuelve a la curva natural.

Acción	**Constante Vital**	**Duración (s)**
Aspirador	SpO2	0
Oxigenoterapia con gafas nasales	FR	120
Oxigenoterapia con mascarilla con reservorio	FR	30
Midazolam 2mg IV	SpO2	60
SSF 20ml/Kg en 10 minutos	TAS	1200
	TAD	1200
Voluvén 250ml IV	TAS	780
	TAD	780
Protocolo de Transfusión masiva	TAS	300
	TAD	300

Tabla 3.1: Acciones y técnicas médicas de tipo 1 con impacto en las constantes vitales.

- **Acciones de tipo 2**: son acciones que provocan la subida o la bajada de una constante vital hasta un valor concreto en un tiempo determinado. Transcurrido ese tiempo, ese valor se mantiene.

  La duración de todas las acciones de tipo 2 abarca desde que se pulsan hasta que finaliza la simulación. El tiempo reflejado en la Tabla 3.2 es cuanto tarda desde que se empieza a modificar el valor de la constante vital hasta que alcanza el valor concreto. Transcurrido ese tiempo, el valor de la constante vital permanecerá constante.

Acción	Constante Vital	Tiempo (s)
Oxigenoterapia con mascarilla con reservorio	Sp02	30
Ventilación con bolsa autoinflable	SpO2	40
Conexión a ventilación mecánica	FR	30
	SpO2	30
Noradrenalina IV	TAS	20
	TAD	20

Tabla 3.2: Acciones y técnicas médicas de tipo 2 con impacto en las constantes vitales.

- **Acciones de tipo 3**: son acciones que mantienen el valor que tenga la constante vital a la que afecta en ese momento durante un tiempo determinado, y después se modifica ese valor un número de puntos por minuto hasta el final de la simulación.

  Al igual que las acciones de tipo 2, las acciones de tipo 3 duran desde que se pulsan hasta que acaba la simulación. El tiempo que se refleja en la Tabla 3.3 es el tiempo que tiene que pasar para que deje de mantenerse el valor inicial de la constante vital y empiece a modificarse.

Acción	Constante Vital	Tiempo (s)
Torniquete	TAS	300
	TAD	300
Aplicación de presión directa	TAS	180
	TAD	180
Aplicación de agente hemostático	TAS	180
	TAD	180

Tabla 3.3: Acciones y técnicas médicas de tipo 3 con impacto en las constantes vitales.

- **Acciones de tipo 4**: son acciones que provocan la subida o la bajada de una constante vital de un número de puntos por minuto determinado hasta el final de la simulación, salvo que se realice una acción determinada.

  La duración de las acciones de tipo 4 es relativa puesto que depende del momento en el que se pulse la otra acción. Como máximo tendrán una duración desde que se pulse la acción hasta que finalice la simulación.

Acción	Constante Vital
Medicación secuencia de intubación rápida	SpO2

Tabla 3.4: Acciones y técnicas médicas de tipo 4 con impacto en las constantes vitales.

En el caso de la acción de medicación de secuencia de intubación rápida, la acción determinada que provoca que deje de tener efecto es la ventilación con bolsa autoinflable.

- **Acciones de tipo 5**: son acciones que aceleran o ralentizan la línea temporal de evolución natural de una constante vital multiplicando su valor por un factor.

  La duración de las acciones de tipo 5 es hasta el final de la simulación.

Acción	Constante Vital
Cinturón pélvico	TAS
	TAD

Tabla 3.5: Acciones y técnicas médicas de tipo 5 con impacto en las constantes vitales.

- **Acciones de tipo 6**: son acciones que provocan la subida o la bajada de una constante vital un número determinado de puntos por minuto durante un tiempo determinado. Una vez transcurrido este tiempo, se mantiene el valor de la constante vital alcanzado. La duración de todas las acciones de tipo 2 abarca desde que se pulsan hasta que finaliza la simulación. El tiempo reflejado en la Tabla 3.2 es cuanto tarda desde que se empieza a modificar el valor de la constante vital hasta que alcanza el valor concreto. Transcurrido ese tiempo, el valor de la constante vital permanecerá constante. De la misma manera que las acciones de tipo 2 y las de tipo 3, las acciones de tipo 6 duran desde que se pulsan hasta que acabe la simulación. El tiempo reflejado en la Tabla 3.6 es cuanto dura desde que empieza a modificar el valor de la constante vital hasta el instante en el que la constante vital mantiene el valor alcanzado.

Acción	Constante Vital	Tiempo (s)
Oxigenoterapia con gafas nasales	Sp02	120

Tabla 3.6: Acciones y técnicas médicas de tipo 6 con impacto en las constantes vitales.

Una vez definido a qué tipo pertenece cada acción y la variación provocada en cada constante vital, se continúa con la implementación de cada una de ellas para reproducir su impacto en cada constante vital afectada.

Dado que todas las acciones médicas en la vida real tardan un tiempo desde que se empiezan a realizar hasta que comienzan a tener efecto en las constantes vitales del paciente, también se tendrá en cuenta este tiempo de latencia en la simulación. Así pues, ese tiempo variará en función de la acción que se lleve a cabo y es el tiempo que transcurrirá desde que se pulsa el botón de la acción hasta que comienza a afectar a las constantes vitales.

Para finalizar con la implementación de cada acción, hay que tener en cuenta su impacto al pulsar el botón de adelantar 5 minutos en el tiempo de la simulación, considerando el tiempo de duración de la acción, y si su efecto en la constante vital se ve modificado en esos 5 minutos.

La implementación de estas acciones permite a los profesionales médicos disponer de las mismas técnicas médicas de las que dispondrían en un caso real, obteniendo así una evolución más realista del paciente.

Gracias a la implementación de las acciones se consigue que la línea temporal de evolución natural del paciente se vea modificada, tanto para bien, estabilizando las constantes del paciente, como para mal, empeorando su estado. La manera en la que la línea temporal de evolución natural se ve modificada dependerá de qué acciones decida llevar a cabo el profesional médico y en qué momento de la simulación.

3.5. Impacto de acciones simultáneas

En esta sección se explica el comportamiento del simulador cuando se llevan a cabo acciones y tratamientos de manera simultánea. Esta simultaneidad ha de tenerse en cuenta puesto que varía el efecto provocado en las constantes vitales si dos o más acciones se llevan a cabo solapándose temporalmente.

Lo primero es analizar de qué manera se ve afectada una constante vital cuando hay activas varias acciones que modifican dicha constante. Para ello, se establece un orden de prioridad por el que priman un tipo de acciones sobre otras.

El orden establecido es:

1. Primero, las acciones de tipo 3 que mantienen el valor de la constante vital en ese instante durante un tiempo determinado.

2. A continuación, las acciones de tipo 2 y de tipo 6 que aumentan o disminuyen el valor de una constante vital durante un tiempo determinado.

3. Por último, las acciones de tipo 1 y de tipo 4, que modifican la constante vital de manera regular hasta que finalizan, se tendrán en cuenta de manera conjunta; se sumarán los puntos que aumenta o disminuye cada acción a la constante vital y el total será el número de puntos que aumenta o disminuye la constante vital por minuto. En el caso de que haya acciones de tipo 5, que son acciones que aceleran o ralentizan la línea temporal de evolución natural de una constante vital mediante un factor multiplicador, este factor solo afecta a la suma de puntos total de las acciones de tipo 1 y de tipo 4.

En la Figura 3.6 se puede apreciar a la izquierda, las acciones pulsadas por el usuario a lo largo de una simulación, representando también su tiempo de actuación:

y a la derecha, se observa qué acción está teniendo impacto en la constante vital a lo largo de la simulación según el orden que se ha establecido.

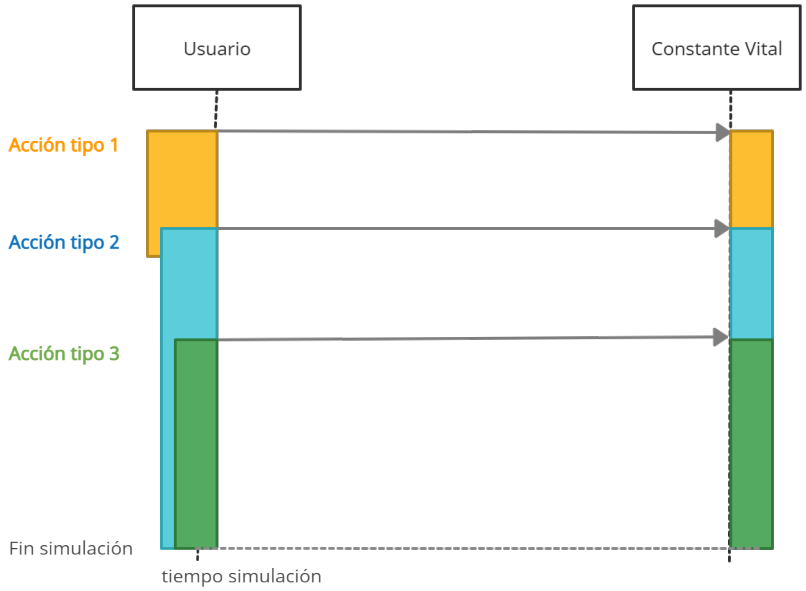


Figura 3.6: Efecto de acciones simultáneas sobre una constante vital según el orden de prioridad.

Tras analizar la prioridad de las acciones, se implementa su impacto de manera simultánea sobre las constantes vitales teniendo en cuenta los tiempos de duración de cada una de ellas.

Por último, como en la sección anterior, hay que considerar el impacto de varias acciones simultáneas actuando sobre una constante vital cuando se pulsa el botón de adelantar 5 minutos en el tiempo de la simulación. Se consideran los tiempos de duración de cada acción y si sus efectos sobre la constante vital se ven modificados en esos 5 minutos. La constante vital se modificará atendiendo al orden de prioridad previamente establecido. Por ejemplo, si hay dos acciones actuando sobre una constante vital una de tipo 1 y otra de tipo 3, se tendrá en cuenta sólo el efecto de la acción de tipo 3 durante esos 5 minutos. Otro ejemplo, que se ve reflejado en las Figuras 3.7, 3.8 y 3.9, sería si estuvieran actuando dos acciones de tipo 1, el efecto provocado en la constante vital variaría en función de si las dos acciones la afectan durante los 5 minutos, si alguna de acaba antes de que finalicen esos 5 minutos o si finalizan las dos antes de finalizar los 5 minutos.

Para el primer caso, en el que las dos acciones de tipo 1 afectan a la constante vital durante los 5 minutos, se sumaría el efecto de ambas acciones.

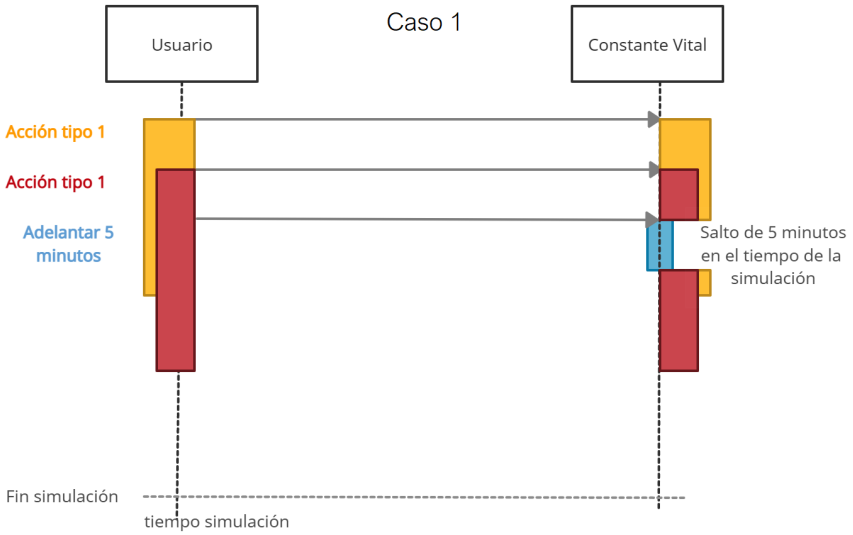


Figura 3.7: Ejemplo 2 acciones simultáneas: caso 1

Para el segundo caso, en el que una de las dos acciones de tipo 1 finaliza antes de que finalicen los 5 minutos, se sumaría el efecto de las dos hasta que finalice esa acción y el resto del tiempo solo se tendría en cuenta el efecto de la otra acción.

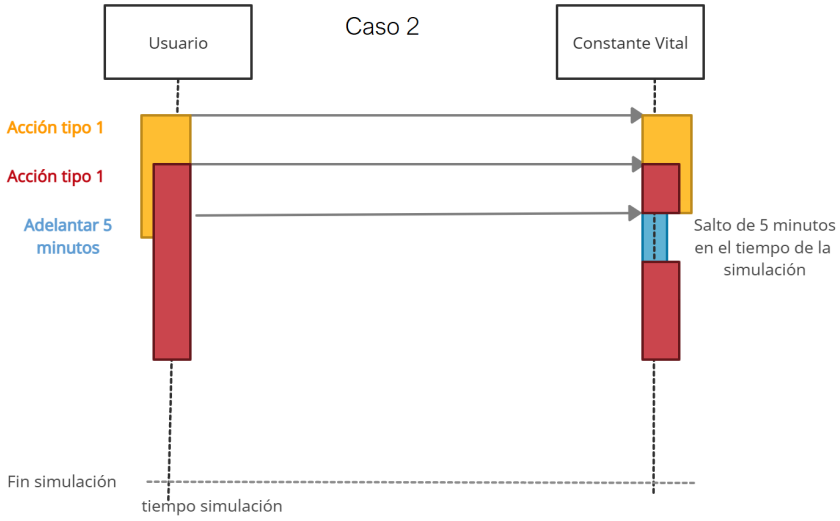


Figura 3.8: Ejemplo 2 acciones simultáneas: caso 2

Para el tercer y último caso, en el que las dos acciones de tipo 1 finalizan antes de finalizar los 5 minutos, sería igual que el anterior, pero tras finalizar la otra acción, se volvería a la línea temporal de evolución natural.

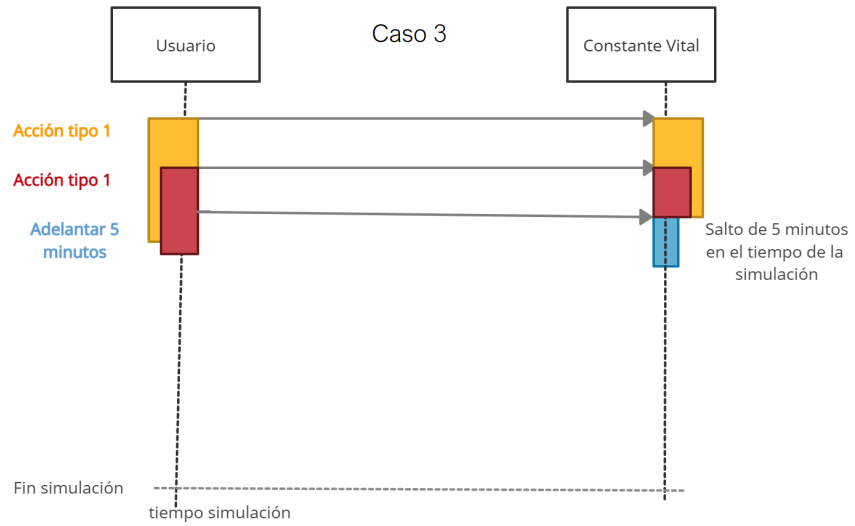


Figura 3.9: Ejemplo 2 acciones simultáneas: caso 3

Al igual que con la implementación de las acciones de manera individual, implementar las acciones de manera simultánea permite a los profesionales médicos actuar en la simulación de la misma manera que lo harían en la vida real. Mediante la implementación de las acciones simultáneas se consigue ver un efecto realista en las constantes vitales y, por tanto, la línea temporal de evolución natural del paciente se ve modificada.

3.6. Diferencias entre en el estado inicial y final de una simulación

Al principio de este Capítulo se ha comentado el estado inicial del simulador. En esta sección se va a profundizar más en las diferencias entre el estado inicial y el estado final, llevado a cabo en este Trabajo de Fin de Grado, de la interfaz de una simulación.

En la Figura 3.10 se puede observar el estado inicial del simulador, del cual podemos destacar las siguientes partes:

- El recuadro naranja señala la parte superior de la simulación en la que se encuentra un menú desplegable con diferentes pruebas a realizar al paciente como por ejemplo un TAC.
- El tiempo restante marca el tiempo que queda para que finalice la simulación.
- El recuadro amarillo encuadra un maniquí que representa al paciente virtual.
- El recuadro azul oscuro agrupa las acciones médicas que se pueden llevar a cabo.
- El recuadro rosa representa, junto con el recuadro verde, un monitor multiparamétrico de constates vitales.

- El recuadro verde muestra las constantes vitales principales del paciente.
- El recuadro naranja es el botón para poder adelantar 5 minutos en el tiempo de la simulación.
- El recuadro azul claro es el botón para finalizar la simulación.

Figura 3.10: Simulador web interactivo: estado inicial.

En cuanto al estado actual del simulador, en concreto el de la interfaz de una simulación, se puede observar en la Figura 3.11. Algunas de las partes que han añadido son:

- El recuadro rosa claro es el botón de logout con el que se cierra sesión y se vuelve a la página de login.
- El recuadro morado es el historial donde aparecen todas las acciones realizadas en la simulación y el momento en el que se han realizado.
- El recuadro rojo agrupa las áreas a las que pueden pertenecer las acciones o tratamientos a llevar a cabo en el paciente. Cuando se pulsa una de estas áreas se desplegarán las acciones tal y como se ve en el recuadro azul.
- El recuadro azul agrupa ahora las acciones pertenecientes a un área.
- El recuadro verde sigue agrupando las constantes vitales del paciente con la modificación de haber quitado la diuresis.

  Se decidió quitar la diuresis de las constantes vitales principales puesto que, tras hablar con los profesionales de HULP, se vio que los datos obtenidos de un paciente en los 30 minutos que dura la simulación no eran relevantes para determinar el estado en el que se encuentra ni las acciones a realizar.
- El recuadro naranja continúa siendo el botón para poder adelantar 5 minutos en el tiempo de la simulación, pero conlleva un impacto realista sobre las constantes vitales.

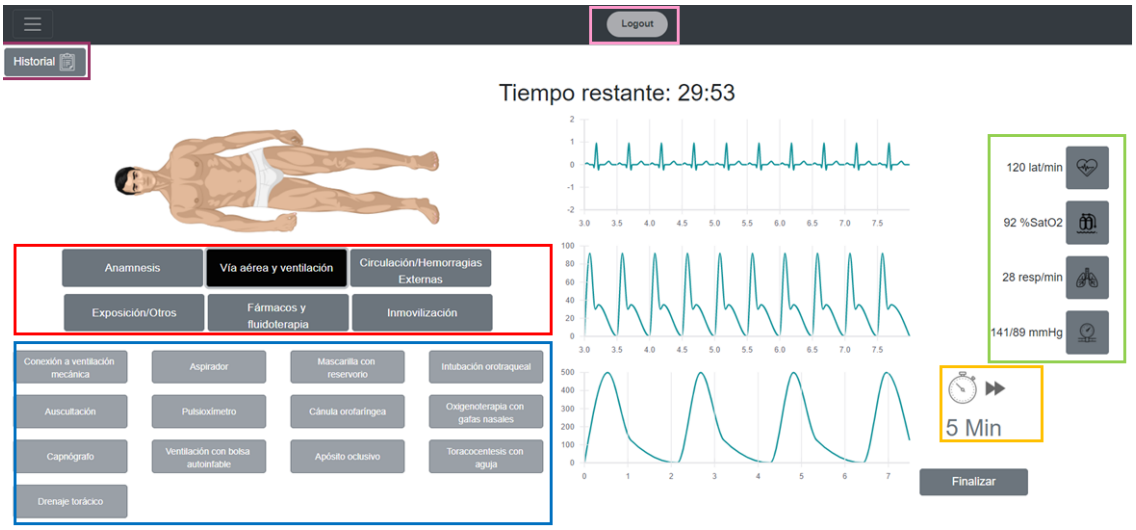


Figura 3.11: Simulador web interactivo: interfaz de una simulación.

En la siguiente Tabla 3.7 se destacan las diferencias entre ambos estados de manera concisa, considerando si están o no en el estado inicial y las modificaciones realizadas de manera resumida:

Parte del simulador	**Inicial**	**Final**	**Nueva funcionalidad**
Tiempo de la simulación	sí	sí	cuenta atrás de 30 minutos
Menú desplegable	sí	sí	sin modificaciones
Historial	no	sí	acciones realizadas en la simulación
Logout	no	sí	finaliza la sesión
Maniquí	sí	sí	sin modificaciones
Acciones	sí	sí	aumenta el número de acciones efecto realista sobre las constantes vitales
Grupos de acciones	no	sí	agrupan las acciones según su tipo
Gráficas	sí	sí	sin modificaciones
Constantes Vitales	sí	sí	se quita la diuresis evolución realista
Adelantar 5 minutos	sí	sí	efecto realista sobre las constantes vitales
Finalizar simulación	sí	sí	sin modificaciones

Tabla 3.7: Diferencias entre en el estado inicial y final de la simulación.

Capítulo 4

Desarrollo e implementación de mejoras en el backend y en la base de datos

Como ya se ha comentado antes, la aplicación dispone de un frontend y un backend conectado a una base de datos MySQL. En este Capítulo se van a presentar el resto de los cambios llevados a cabo en el simulador clínico web que abarcan todas las partes de la aplicación, más en concreto las relacionadas con el backend y la base de datos.

Tal y como se explica en el Capítulo 3, el backend es la parte lógica del simulador que proporciona los datos al frontend y se conecta con la base de datos MySQL. El backend se basa en un servidor Express que se explicará en la siguiente sección.

4.1. Tecnologías utilizadas

En el Capítulo 3 se explicaron las tecnologías utilizadas en el frontend, en este Capítulo se comentarán el resto de tecnologías utilizadas tanto para el backend como para la base de datos.

- **Node.js:** es un entorno JavaScript que se ejecuta en el servidor de manera asíncrona y con una arquitectura orientada a eventos [40].

  La idea principal de Node.js es usar un modelo de entrada y salida sin bloqueo, controlado por eventos que se acumulan en un único hilo de ejecución. Estos eventos son peticiones por parte del cliente que se van ejecutando de manera asíncrona, es decir, independientemente de los demás[41].

  Node.js permite utilizar NPM (Node Package Manager) que es un gestor de paquetes usado para la descarga librerías para poder enlazarlas a las aplicaciones [42], por ejemplo React que se explicó en el Capítulo 3.

- **Express:** es un framework de Node.js que permite generar automáticamente el esqueleto de la aplicación, por ejemplo, funcionalidades como el enrutamiento u opciones para gestionar sesiones [43]. Implementa la arquitectura Modelo-Vista-

Controlador, MVC que es un estilo de arquitectura de software para separar tres elementos [44]:

- Modelo: representa y almacena los datos del sistema.
- Vista: maneja la presentación visual de los datos representados por el modelo.
- Controlador: encargado de la interacción entre la vista y el modelo.

Express se utiliza para la creación de APIs encargadas de suministrar los datos que proceden del modelo a su vista correspondiente. También se utiliza Express para la creación de APIs encargadas del tratamiento de los datos que se reciben de las vistas a través de peticiones HTTP.

Se conoce como API a un conjunto de funciones encargadas de llevar a cabo una o varias tareas y que puede ser usada por otro software [45].

- **MySQL:** es un sistema gestor de bases de datos relacionales de código abierto, lo que implica que es fácilmente accesible, y compatible con SQL [46].

  MySQL posee una arquitectura cliente-servidor que consiste en que el cliente realice peticiones mediante el lenguaje SQL con el fin de consultar los datos almacenados en las tablas que forman la base de datos. Estas peticiones son contestadas por el servidor que envía la respuesta con lo que ha solicitado el cliente.

- **SQL:** (Structured Query Language) es un lenguaje estándar para definición, manipulación y control de bases de datos relacionales utilizado tanto por el cliente como por el servidor para comunicarse [47]. SQL tiene algunos comandos básicos para esta comunicación entre el cliente y del servidor [48]. Estos comandos son:

  - SELECT: Permite consultar datos.
  - WHERE: Permite filtrar los datos que se quieren poniendo determinadas condiciones.
  - INSERT: Permite insertar datos en una tabla de la base de datos.
  - DELETE: Permite borrar los datos de la base de datos.
  - UPDATE: Permite modificar datos existentes en una tabla de la base de datos.

- **Sequelize:** es un ORM (Object-Relational Mapping), técnica para convertir los datos almacenados en la base de datos en objetos para que puedan ser utilizados por la aplicación y viceversa [49]. En concreto, Sequelize es un ORM de Node.js que permite ejecutar funciones JavaScript para interactuar con la base de datos, en este caso MySQL, sin escribir consultas SQL [50].

4.2. Base de datos relacional

Como se comentó en el Capítulo 3, el simulador dispone de una base de datos relacional para poder almacenar los datos generados y utilizados por la aplicación. Primero se almacenan los datos de los usuarios que interactúan con la aplicación, así como su rol en la misma, estudiante o instructor, para que el sistema pueda controlar los accesos a los recursos. Adicionalmente se guardan los registros pertenecientes a una simulación tales como, por ejemplo, los casos clínicos que se crean y los datos médicos del paciente virtual.

La base de datos del simulador se compone de cinco modelos que definen las entidades a partir de las cuales se crean las tablas de la base de datos y que incluyen, cada una, los tipos de datos que se requieren introducir en cada campo. Estas tablas están compuestas por filas y columnas donde las filas se conocen como tuplas o registros y las columnas representan un atributo o campo específico.

Los cinco modelos que definen las entidades del simulador son los representados en la Figura 4.1. Se puede ver la estructura simplificada de la base de datos. Las relaciones entre estas tablas de la base de datos se establecen por medio de la PK (Clave primaria), este atributo también se encuentra en la tabla con la que tiene relación pero en este caso se llamará FK (Clave externa). A parte de estas claves las tablas están compuestas por más atributos.

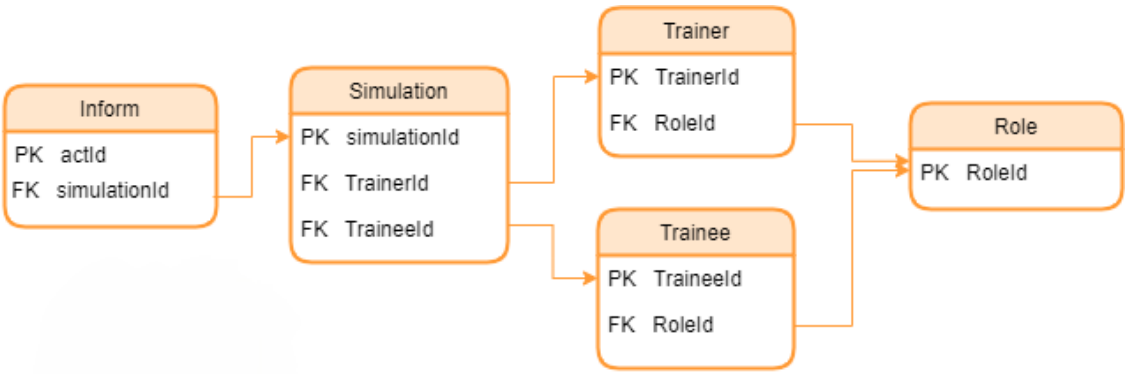


Figura 4.1: Estructura simplificada de la base de datos.

Al ser una base de datos relacional todos los modelos se encuentran relacionados entre sí mediante algún campo de la tabla.

Para realizar la creación y la gestión de la base de datos relacional, en este Trabajo de Fin de Grado se han incluido las funciones Create, Read, Update y Delete, resumidas en el acrónimo CRUD [51]. A continuación se explican estas operaciones fundamentales:

- **Create (Crear)**: es una función que permite crear un nuevo registro en la base de datos y completarla con los datos que correspondan a cada atributo.
- **Read (Leer)**: permite buscar registros específicos y recuperarlos para leer sus valores.
- **Update (Actualizar)**: es una función que sirve para modificar los registros ya existentes en la base de datos.
- **Delete (Borrar)**: es una función que permite eliminar registros de una base de datos.

Al incluir estas funciones en todos los controladores, se permite la creación, la lectura, la actualización y el borrado de los datos, permitiendo gestionar las tablas de la base de datos de manera sencilla.

4.3. Validación de Datos

La validación de los datos introducidos en la aplicación es fundamental para el correcto funcionamiento de la misma. Esto se puede ver reflejado en la seguridad del simulador, por ejemplo, definiendo las características que debe tener la contraseña de cada usuario.

Además, esta validación dotará de un mayor realismo a las simulaciones estableciendo unos valores límite para cada constante vital, impidiendo que lleguen a valores fuera del rango natural de un paciente con una lesión traumática grave.

4.3.1. Registro

Al igual que la mayoría de las aplicaciones web, el simulador web dispone de una pantalla de acceso y una de registro.

Aunque en el estado inicial del simulador ya se disponía de un formulario de registro, en este Trabajo de Fin de Grado se ha mejorado el mismo, incluyendo la validación de los datos introducidos en el formulario tal y como puede verse en la Figura 4.2. Para comprobar su correcto funcionamiento, se realizaron pruebas comprobando que se registraban de manera correcta los usuarios, tanto estudiantes como instructores.

Para la validación de los datos se han utilizado, en el frontend de la aplicación, expresiones regulares, que son cadenas de caracteres basadas en reglas sintácticas que permiten describir secuencias de caracteres, modificando o sustituyendo líneas de código de mayor complejidad. Estas expresiones fijarán las reglas que marquen que valores son o no son válidos para ser introducidos en cada campo [52].

Las comprobaciones realizadas en cada campo son:

- En Nombre, Apellidos y Lugar de trabajo, solo se pueden introducir letras y espacios. Las letras pueden llevar tilde.
- En el campo Email, se comprueba que sea un correo electrónico con la presencia de un "@ "terminando con un "."seguido de un dominio.
- En Contraseña y Confirmar Contraseña, tienen que tener al menos 6 caracteres e incluir al menos: una minúscula, una mayúscula, un número y un caracter especial (!@#$%&*). Ambas deberán ser iguales.

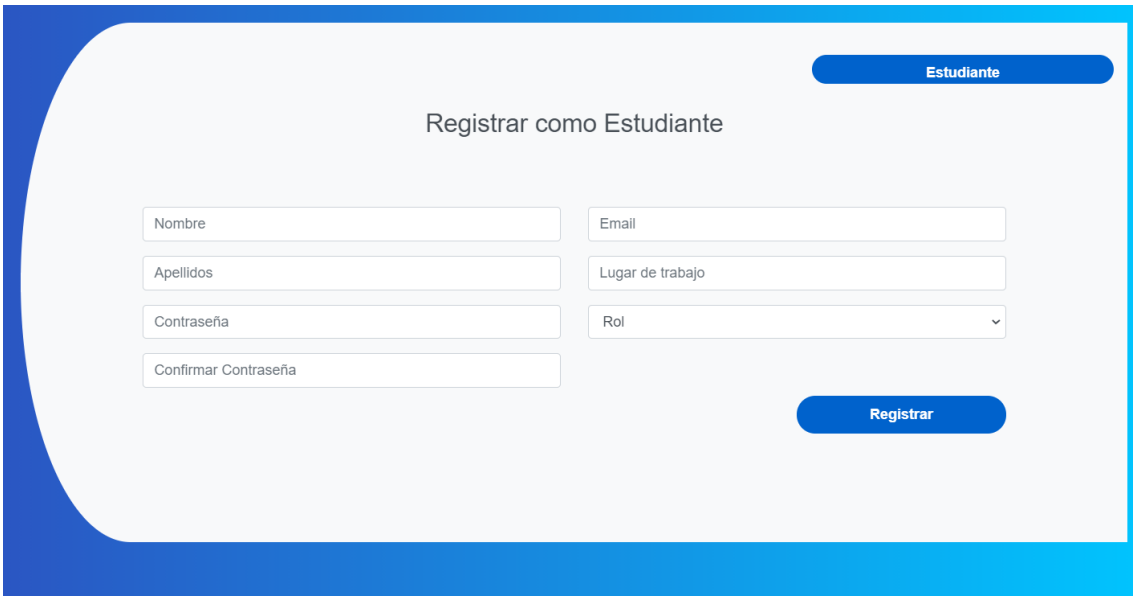


Figura 4.2: Pantalla de registro del simulador web.

En caso de que alguno de los valores introducidos en los campos del formulario sea incorrecto, saldrá un mensaje de alerta por pantalla explicando la manera correcta en la que ese campo debe ser cumplimentado.

A parte de los cambios realizados en el frontend, en el backend también se validan los datos para introducirlos correctamente en la base de datos. Como se ha comentado en la sección anterior, la base de datos se manipula mediante Sequelize.

La validación en el backend es similar a la realizada en el frontend pero, además, se incluyen restricciones para los modelos de Instructor y Estudiante con Sequelize. Estas restricciones y validaciones servirán para implementar las mismas reglas que se han definido para el frontend. La diferencia entre las validaciones y las restricciones radica en que las validaciones son comprobaciones de Sequelize en JavaScript y las restricciones son reglas definidas a nivel de SQL. En el backend, que compone la parte lógica del simulador clínico web, se han implementado diferentes tipos de restricciones

y validaciones. En cuanto a restricciones, por ejemplo, se ha implementado que el email de cada persona que se registre en el simulador clínico sea único. En cuanto a las validaciones, por ejemplo, se comprueba que el email introducido tenga una estructura de email. En caso de que no se cumpla cualquiera de las restricciones o validaciones no se completará el registro.

Con estas validaciones, tanto a nivel de frontend como de backend, se aporta una mayor seguridad a la aplicación impidiendo que se introduzcan datos incorrectos y comprobando que en los campos se introduce la información de la manera en la que se solicita.

4.3.2. Nueva Simulación

De igual manera que se ha visto en el registro de nuevos usuarios de la aplicación, también se ha incluido la validación de los datos introducidos a la hora de crear una nueva simulación.

Aunque el instructor puede crear cualquier caso clínico, se ha limitado esa creación de casos clínicos a que, parámetros como las constantes vitales y la edad del paciente se configuren siguiendo unas pautas determinadas. Así pues, se establecerán rangos de valores para cada uno de los parámetros y teniendo en cuenta las limitaciones clínicas.

Los rangos establecidos son:

- Edad: Entre 0 y 100 años.
- Presión sistólica: Entre 60 y 190 (mmHg).
- Presión diastólica: Entre 30 y 90 (mmHg).
- Frecuencia cardiaca: Entre 50 y 160 (lat/min).
- Frecuencia respiratoria: Entre 0 y 60 (resp/min).
- Saturación de Oxígeno: Entre 70 y 100 (%).

Estas validaciones, al igual que se ha visto en la sección anterior, se han incluido tanto en el frontend de la aplicación al crear una nueva simulación mediante JavaScript, como en el backend justo antes de la entrada de datos al modelo de Simulación incluyendo también restricciones.

En caso de introducir algún parámetro fuera del rango establecido, aparece una alerta indicando el rango adecuado para ese parámetro o constante vital. En la Figura 4.3 se puede observar que, al intentar crear una simulación con una presión sistólica de más de 190mmHg, aparece la alerta indicando los valores máximo y mínimo de dicha constante vital.

Figura 4.3: Nueva simulación: presión sistólica fuera de rango.

La validación de los datos a la hora de crear una nueva simulación permite asegurar que las constantes vitales del paciente simulado se encuentren en rangos realistas y compatibles con la vida. Gracias a esto, se asegura un mayor realismo en el simulador.

4.4. Autenticación e Inicio de sesión

Tanto la autenticación como el uso de sesiones aportan una mejora en términos de seguridad al simulador clínico web. La autenticación es un proceso mediante el cual un usuario demuestra ser quien dice ser. La sesión se refiere a un periodo de tiempo determinado en el que se produce un intercambio de información entre un usuario y un sistema.

Para implementar en el simulador tanto la autenticación de los usuarios como el uso de sesiones, se ha utilizado JSON Web Token, JWT. Un JWT es un bloque de información, token, en formato JSON (JavaScript Object Notation) que es una forma de almacenar información de manera organizada y de fácil acceso [53]. El token, que se asigna a un usuario tras el inicio de sesión y que suele incluir datos personales del usuario como su nombre o su email, se utiliza como identificador. Mediante este token se puede verificar la autenticidad del usuario y al finalizar la sesión el token se elimina [54, 55].

Para poder implementarlo se ha modificado tanto el frontend como el backend de la aplicación.

Primero se modifica el backend instalando los paquetes necesarios para la posterior creación del token. El token se creará incluyendo algún dato del usuario como se ha

comentado anteriormente, en este caso será su email. La creación de este token solo se lleva a cabo si el usuario inicia sesión y se autentifica correctamente. A parte de crear el token, el backend es también responsable de la verificación de este. Para esta verificación se ha creado una API.

Después de todos los cambios realizados en el backend, se modifica el frontend. En el frontend se administra el token y los datos del usuario con los que debe gestionar el inicio y el cierre de sesión. Cuando el usuario se autentica correctamente se crea una sesión para ese usuario la cual finalizará cuando decida cerrar la sesión o tras 1 hora desde que hizo login. Para gestionar de manera correcta este cierre de sesión, se ha incluido un botón de Logout tal y como se muestra en la Figura 4.4, el cual cierra la sesión de un usuario y permite regresar a la pantalla de login.

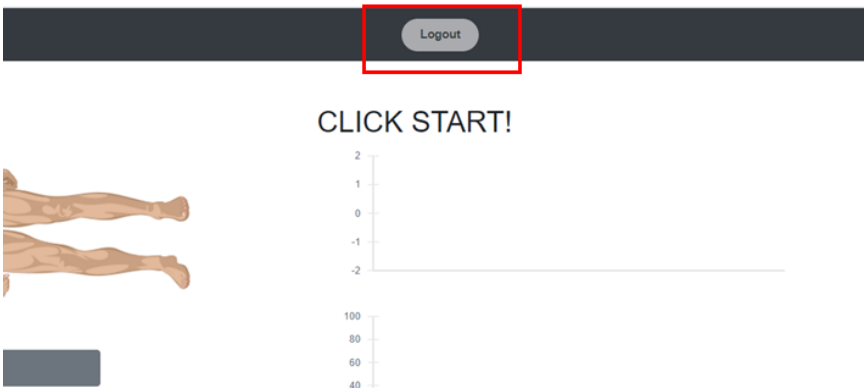


Figura 4.4: Botón de logout

Todo esto se implementa para proporcionar una mayor seguridad al simulador clínico y a los usuarios. Así pues, se consiguen varias cosas, entre ellas que una vez el usuario se haya autenticado en la aplicación de manera correcta, solo se mantendrá iniciada la sesión durante una hora. Otra de las ventajas es que el mismo usuario no podrá acceder de manera simultánea dos veces al simulador.

Capítulo 5

Validación del simulador

En este Capítulo se expondrán los dos procesos de validación que se han llevado a cabo. Primero, se hablará de la validación técnica y posteriormente se explicará la validación de usabilidad realizada por profesionales médicos.

5.1. Validación técnica

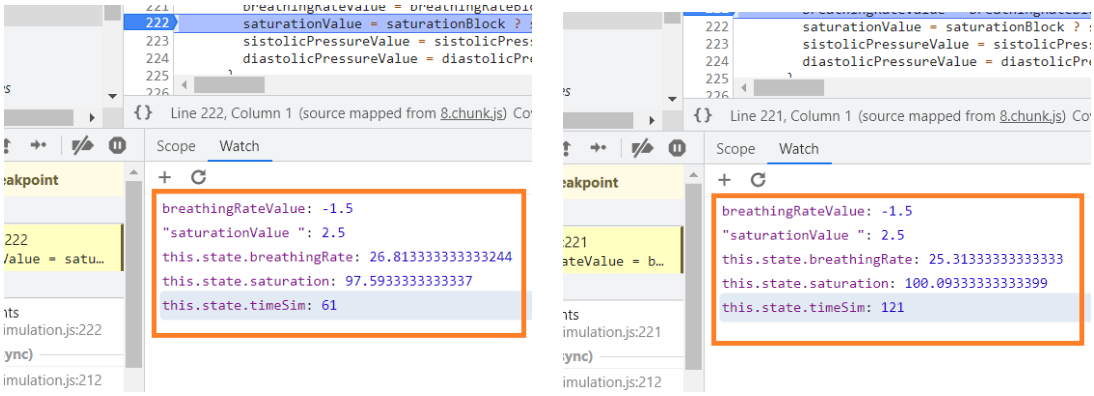
La validación técnica tiene como objetivos comprobar el correcto funcionamiento del simulador y la búsqueda de fallos y posibles mejoras a realizar.

Para la realización de estas pruebas participaron varias personas con conocimiento técnico del simulador y del proyecto. Se acordó que los participantes de estas pruebas las realizasen de forma simultánea durante una semana para que, aparte de buscar posibles fallos y mejoras, se pudiera probar el acceso al simulador de manera conjunta viendo si se producían colisiones.

Las pruebas consistían en acceder a la aplicación web e intentar probar al completo el funcionamiento del simulador creando varios casos de simulación de forma simultánea. Las pruebas realizadas fueron:

- Comprobar que los botones del simulador realizan lo esperado, como por ejemplo el botón para acceder a la pantalla de registro que se encuentra en la pantalla de Login o el botón de Finalizar que se encuentra en cada simulación para finalizarla.
- Comprobar que se validan los datos introducidos en el simulador y que, si se introduce un dato no permitido o que se sale de los límites establecidos en algún campo del registro o en la creación de una simulación, salta una alerta indicando la manera correcta en la que introducir el dato.
- Probar todas las acciones disponibles dentro de la simulación y comprobar el correcto funcionamiento de cada una de ellas. Se tiene en cuenta el impacto en las constantes vitales para corroborar su correcta implementación. A su vez, probar acciones simultáneas comprobando que se cumple el orden jerárquico establecido. Como ejemplo de las pruebas llevadas a cabo, en la Figura 5.1

se puede observar el efecto de la acción oxigenoterapia con gafas nasales. Al transcurrir 1 minuto de simulación la saturación de oxígeno sube 2,5 puntos y la frecuencia respiratoria baja 1,5 puntos.



(a) *(b)*

Figura 5.1: Prueba Oxigenoterapia con gafas nasales: 61 segundos desde el inicio de la simulación *(a)* y 121 segundos desde el inicio de la simulación *(b)*

Los parametros breathingRateValue y saturationValue indican el número de puntos que debe subir las constantes vitales de Frecuencia respiratoria y saturación; this.state.breathingRate y this.state.saturation indican el valor de la constante vital en ese instante; this.state.timeSim indica cuanto tiempo ha pasado desde el inicio de la simulación en segundos.

- Verificar que el informe se genera automáticamente tras finalizar una simulación. Este se debe generar de manera correcta registrando las acciones realizadas y los tiempos en los que estas se realizan. Posteriormente se comprueba que los datos que aparecen en el informe coincidan con los llevados a cabo durante la simulación.
- Confirmar que los casos que crea un usuario con rol de instructor se generaban de manera correcta y se asignaban al usuario con rol de estudiante que se había seleccionado.

A parte de estas pruebas más concretas e individuales, también se realizaron pruebas de manera conjunta para poder comprobar si había un límite de usuarios accediendo de manera simultánea al simulador.

Los resultados obtenidos durante los días de validación técnica se recogieron en una tabla Excel. Esta tabla se crea para tener un documento común en el que registrar los fallos a corregir y las mejoras a realizar asignando cada tarea a un responsable. De esta manera, resulta más fácil llevar un seguimiento del proyecto y tener una buena organización sabiendo que tarea realizar en cada momento.

Entre los datos recogidos en esta tabla están: una descripción de la prueba llevada a cabo, el error o la mejora que se ha detectado, la solución propuesta si el usuario que

la ha detectado quiere determinar alguna, la asignación a un usuario y la prioridad para solucionar el error o llevar a cabo la implementación de la mejora. En el campo de error se incluyen detalles del mismo para que se disponga de la información más precisa posible. La priorización de los errores y las mejoras se realiza asignando a cada uno de ellos una prioridad alta, media o baja.

- La **prioridad alta** implica un error o mejora esencial para que el simulador pueda ser preparado para las pruebas de usabilidad que se comentarán en la siguiente sección. Un ejemplo de prioridad alta es revisar el desarrollo de las acciones que actúan de manera simultánea puesto que al seleccionar SG 5 % mantenimiento e intubación orotraqueal (dos acciones sin impacto en las constantes vitales), salía el error: ReferenceError: assignment to undeclared variable bloodLossFinalTime". Se solucionó eliminando todo lo relativo a la variable bloodLoss que formaba parte estado inicial del simulador puesto que, debido a la implementación de los nuevos casos clínicos, ya no se necesitaba.

- La **prioridad media** se refiere a aquellos errores o mejoras que, sin ser críticos para el funcionamiento del simulador, implican que alguna parte del simulador no es completamente funcional, por ejemplo, cuando se pulsa la barra de menu en cualquier pantalla, nos aparece el menu que tenemos disponible en la simulación y no debería estar disponible salvo en la simulación.

- Por último, la **prioridad baja** se refiere sobre todo a mejoras que, sin ser necesarias para la completa funcionalidad del simulador, aportan valor tanto en temas estéticos, de seguridad o haciendo al simulador más intuitivo y amigable con el usuario. Un ejemplo de mejora de baja prioridad es la implementación de las sesiones para aportar una mayor seguridad, se detalla en el Capítulo 4.

5.2. Validación de usabilidad

La validación de usabilidad tiene varios objetivos: comprobar el correcto funcionamiento del simulador, analizar si las simulaciones representan los casos clínicos de manera realista, obtener la opinión de profesionales médicos en cuanto a posibles mejoras a llevar a cabo y comprobar si el simulador es amigable para usuarios que no están familiarizados con él.

Estas pruebas contaron con la participación de profesionales médicos que se encuentran en diferentes niveles formativos: estudiantes y residentes. Para llevar a cabo las pruebas se realizó un estudio para ver cómo se podría probar el simulador web interactivo. Para una recogida de datos significativa y para asegurar que la información recogida era fidedigna, se decide realizar una validación del simulador web durante dos semanas. Para ello se crea un manual de usuario disponible en el Anexo C. En este manual se proporciona a los participantes la información necesaria acerca del uso del simulador y los pasos que tienen que dar. La realización de las pruebas requiere un acceso diario al simulador clínico por parte de los profesionales y entrenar con al menos un caso clínico al día durante las dos semanas de duración. Todos los

participantes realizaron las pruebas con el rol de estudiante en la aplicación por lo que se realizaron modificaciones en la pantalla de registro para que solo apareciese la opción de registrarse como estudiante.

En la Figura 5.2 se muestra la pantalla que aparece tras el inicio de sesión de un usuario con rol de estudiante. Se muestran dos opciones: examen o entrenamiento. El primer día que los participantes acceden al simulador, deben seleccionar la opción de examen, realizando los dos casos que aparecen en dicho apartado: uno de fase prehospitalaria, y otro de fase hospitalaria, ambos del mismo trauma diseñados para aprender el manejo de estas situaciones independientemente del entorno en el que se encuentre el personal clínico. A continuación, durante las dos semanas siguientes se accederá a la opción de entrenamiento del simulador, en la que se encontrarán seis simulaciones, 3 de fase prehospitalaria y 3 de fase hospitalaria, y se podrán realizar todas tantas veces como se considere. Transcurridas dos semanas desde el inicio de la simulación, el día 14 desde que comienzan las pruebas, se volverá a acceder a la opción examen del simulador y se volverán a realizar los dos casos disponibles de fase prehospitalaria y fase hospitalaria.

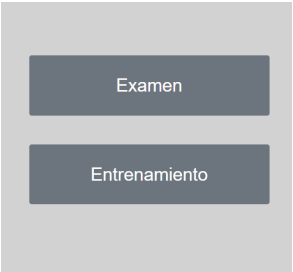


Figura 5.2: Pantalla tras realizar el inicio de sesión con el rol de estudiante.

Tras dos semanas de entrenar con el simulador clínico web, se solicita a los profesionales médicos que han realizado las pruebas que completen un cuestionario electrónico que se ha desarrollado en google forms [56] para poder analizar los resultados del mismo y detectar futuras áreas a mejorar dentro del simulador. El cuestionario de usabilidad tiene tres secciones principales:

1. La primera sección es para identificar al profesional médico que está realizando el cuestionario. Se pregunta el nombre, los apellidos y la profesión, refiriéndose esto último a si es estudiante de medicina o residente.

2. La segunda sección es la valoración de las simulaciones. Esta sección engloba nueve preguntas relacionadas con la utilidad del simulador para el aprendizaje y entrenamiento de los profesionales y para evaluar el realismo de una simulación. Se puntúan mediante una escala tipo Likert [57] de 7 puntos, siendo 1 muy poco y 7 mucho. Las preguntas abordadas en esta sección se encuentran en la Figura 5.1, las 6 primeras preguntas son relativas al aprendizaje mediante el simulador y las otras tres para evaluar el realismo de este.

Pregunta
P1: ¿Tienes alguna experiencia previa con simuladores virtuales?
P2: ¿Consideras que esta herramienta es útil para el aprendizaje?
P3: ¿Consideras que esta herramienta es útil como método de entrenamiento?
P4: ¿Cómo calificarías tu experiencia con el simulador?
P5: ¿Crees que esta herramienta ayuda al razonamiento crítico y a la toma de decisiones?
P6: ¿Crees que se podría aplicar la herramienta en tu servicio/universidad?
P7: ¿Las consecuencias de las acciones en las constantes vitales son realistas?
P8: ¿Consideras adecuadas las variables presentadas en cada simulación?
P9: ¿Consideras adecuadas las acciones presentadas en cada simulación?

Tabla 5.1: Cuestionario de usabilidad: Sección 2

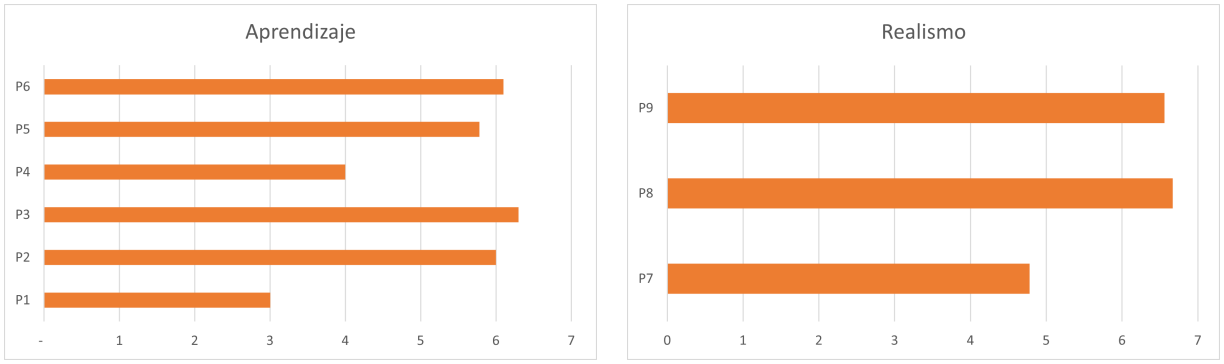
3. La tercera sección es sobre la usabilidad del simulador y cuenta con trece preguntas. Al igual que en la sección anterior se puntúan las respuestas mediante una escala tipo Likert de 7 puntos, siendo 1 completamente en desacuerdo y 7 completamente de acuerdo. Adicionalmente se pedirá en algunas preguntas que se aporte algo más de información si la puntuación es inferior a 7. Las preguntas están enfocadas para ver si al usuario le parece una aplicación intuitiva y fácil de usar (ver Tabla 5.2), las preguntas 9 y 10 permiten añadir comentarios para aportar puntos de mejora.

Pregunta
P1: En general, el simulador es fácil de usar
P2: Me siento a gusto con el simulador
P3: Es sencillo aprender a utilizar el simulador
P4: La información aportada por el simulador es clara
P5: Es sencillo localizar la información que necesito
P6: La información aportada por el simulador es fácil de comprender
P7: La información aportada es efectiva para ayudarme a finalizar la simulación
P8: La organización de la información en la pantalla es clara
P9: El orden de los elementos que aparecen en la pantalla son adecuados
P10: Aparecen todos los parámetros de monitorización necesarios para un tratamiento de un paciente de trauma pélvico
P11: La interfaz gráfica es amigable
P12: El simulador tiene todas las funcionalidades que espero tener
P13: En general, estoy satisfecho/a con el simulador

Tabla 5.2: Cuestionario de usabilidad: Sección 3

Las medias de las respuestas de las 6 primeras preguntas de la sección 2 del cuestionario en las que se analiza la utilidad del simulador para el aprendizaje se pueden apreciar en la Figura 5.3 (a). Evaluando las respuestas a cada pregunta se observa que el simulador se percibe como una herramienta útil para el entrenamiento de los profesionales. Analizando también las medias de las respuestas a las preguntas

relacionadas con el realismo de las simulaciones que se encuentran en la sección 2, (ver la Figura 5.3 (b)), se puede observar que uno de los principales objetivos de este Trabajo de Fin de Grado, que es aportar realismo a las simulaciones, se ha cumplido conforme a lo que los profesionales médicos buscan en un simulador. En la última



(a) *(b)*

Figura 5.3: Resultados medios de la validación de usabilidad: aprendizaje *(a)* y realismo *(b)*.

sección del cuestionario, los resultados en media se observan en la Figura 5.4. Como se puede observar, los participantes perciben que el simulador es sencillo de manejar e intuitivo, lo cual implica que el simulador es amigable con el usuario.

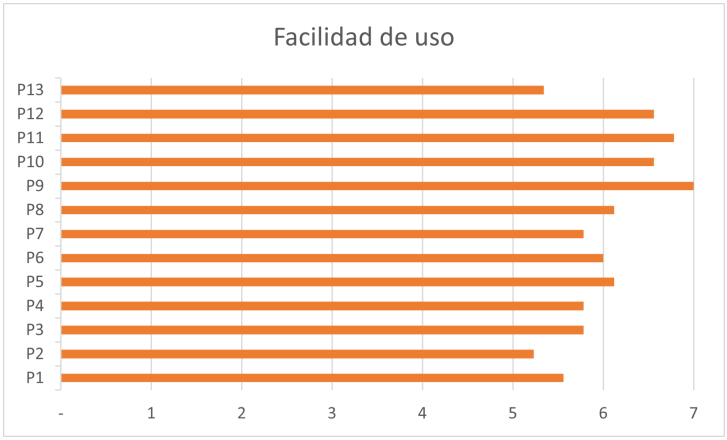


Figura 5.4: Resultados medios de validación de la usabilidad: Facilidad de uso .

En esta sección del cuestionario también se recogen las respuestas sobre las propuestas de mejora para el simulador. Algunos ejemplos son:

- Incluir parámetros para controlar el respirador.
- Incluir una analítica de urgencias en la fase hospitalaria.
- Incluir gasometría en la fase prehospitalaria.

Capítulo 6

Conclusiones y líneas futuras

6.1. Conclusiones

En relación a lo expuesto anteriormente, este Trabajo de Fin de Grado cumple con los objetivos establecidos en el Capítulo 1 de mejorar un simulador clínico web interactivo para formar a los profesionales clínicos en el tratamiento de lesiones de trauma grave.

Se ha implementado la línea temporal de evolución natural de un paciente simulando su evolución en caso de sufrir un trauma grave como puede ser el trauma pélvico. Así cuando el estudiante acceda al simulador, podrá observar las consecuencias de no actuar frente a ese traumatismo grave. Adicionalmente, se han incluido diferentes acciones en el simulador para que el estudiante sea capaz de tratar la lesión del paciente durante la simulación y conseguir su estabilización. Estas acciones tendrán un impacto realista sobre las constantes vitales del paciente, viéndose modificada la línea temporal de evolución natural del paciente y afectando de manera positiva o negativa a su estado de salud según se realicen o no las acciones pertinentes en el momento adecuado de la simulación. De esta manera se obtiene una aplicación realista que sirve para entrenar a los profesionales médicos, para que puedan dar una respuesta rápida y afianzada de los protocolos de actuación frente a diferentes tipos de lesiones traumáticas graves.

Para que el acceso al simulador de los estudiantes y de los instructores sea más seguro, se han realizado mejoras en el registro de la aplicación validando que los datos introducidos por los usuarios se encuentren entre los parámetros establecidos. A su vez, se ha implementado la validación de los datos introducidos cuando un instructor crea una nueva simulación.

Finalmente, tras las pruebas de validación del simulador web interactivo se puede afirmar que, los objetivos expuestos en el Capítulo 1 se cumplen de la manera esperada y que el simulador realiza su función principal que es ser una herramienta de entrenamiento para los profesionales médicos.

6.2. Líneas futuras

Para finalizar este Trabajo de Fin de Grado se van a exponer una serie de mejoras a llevar a cabo que darán lugar a un simulador clínico más completo. Para plantear estas mejoras y líneas futuras de desarrollo del simulador se han tenido en cuenta los resultados de las validaciones expuestas en el Capítulo 5:

- Añadir la posibilidad de manejar de manera personalizada algunas acciones como, por ejemplo, poder ver y modificar los parámetros del respirador.
- Incluir más pruebas para el diagnóstico del paciente en las simulaciones, por ejemplo, una gasometría.
- Diseñar un maniquí físico con el que poder interactuar y al que poder realizar algunas de las acciones disponibles en la simulación para un entrenamiento de los estudiantes más realista, permitiéndoles aprender no solo los protocolos de actuación a seguir sino también como llevar a cabo las técnicas médicas a realizar.
- Implementar el requisito no funcional de portabilidad para que la aplicación web se pueda abrir también en Safari. Por ahora se abre correctamente tanto en Google Chrome como en Mozilla Firefox.
- Incluir más tipos de trauma.
- Incluir un carrusel explicativo a modo de tutorial para enseñar el funcionamiento de la aplicación.

Bibliografía

[1] Seidy Mora Quirós y Mara Ambrosina de Oliveira Vargas. Simulación clínica: una estrategia que articula prácticas de enseñanza e investigación en enfermería. *Texto Contexto - Enfermagem*, 4(23):815–816, 2014.

[2] Abraham Velasco Martín. Simulación clínica y enfermería creando un ambiente de simulación. *Escuela universitaria de enfermería Çasa de salud Valdecilla* , 2013.

[3] Janet Elizabeth Altamirano-Droguett. La simulación clínica: Un aporte para la enseñanza y aprendizaje en el área de obstetricia. *Educare*, 23(2):167–187, 2019.

[4] Johns Hopkins Medicine Simulation Center. Partial task models. https://www.hopkinsmedicine.org/simulation_center/training/mannequin_based_simulations/partial_task_models.html. [Online]; accedido 30/04/2021.

[5] LSU. Health Shreveport. Task trainer simulation. https://www.lsuhs.edu/our-schools/clinical-skills-center/task-trainer-simulation. [Online]; accedido 30/04/2021.

[6] Dra. Wayna Esmeralda Vásquez Fernández. Pacientes esrandarizados: Instrumento de la educación médica. *Espacio Docente UNIBE*, 2015.

[7] Standford Medicine. Centre for Immersive and Simulation based Learning. Standardized patients. https://cisl.stanford.edu/standardized-patient-program/for-standardized-patients.html. [Online]; accedido 01/05/2021.

[8] María del Carmen Casal Angulo. La simulación como metodología para el aprendizaje de habilidades no técnicas en enfermería. *Programa de Doctorado en Enfermería. Universidad de Valencia*, 2015.

[9] Trucorp. Simulated patient monitor for true-to-life als training. https://www.trucorp.com/P/125/MedicalSimulator. [Online]; accedido 03/05/2021.

[10] Farmacosalud. El simulador virtual para practicar cirugías de ojos, ya en españa. *Farmacosalud*, 2015.

[11] iSanidad. La clínica universidad de navarra adquiere el primer simulador virtual para la práctica de cirugías oftalmológicas en españa. *iSanidad*, 2015.

[12] MedVision. Leonardo, your high fidelity tool for high fidelity training. https://www.medvisiongroup.com/leonardo.html. [Online]; accedido 03/05/2021.

[13] Oscar Guevara. Ariel Iván Ruiz-Parra, Edith Angel-Müller. La simulaciÓn clínica y el aprendizaje virtual. tecnologÍas complementarias para la educaciÓn mÉdica. *Faculty of Medicine Journal of the National University of Colombia*, (1), 2009.

[14] O. Pato López S. López Álvarez. M. López Sánchez, L. Ramos López. La simulación clínica como herramienta de aprendizaje. *asecma*, 18(1):29–31, 2013.

[15] Fisalia. Lesiones traumatológicas. https://fisalia.es/tratamientos/lesiones-traumatologicas/. [Online]; accedido 05/05/2021.

[16] B.Riou B.Vivien. R.Jouffroy, O.Langeron. Tratamiento del traumatismo grave del adulto en las primeras 24 horas. *EMC- Anestesia-Reanimación*, 42(1):1–22, 2016.

[17] Agustín Julián Jiménez. *Manual de protocolos y actuación en Urgencias*. Urgencias. Hospital Virgen de la Salud. Complejo hospitalario de Toledo, 4 edition, 2016.

[18] Álvaro Bustamante Gómez. Manejo del shock hipovolÉmico en pacientes politraumatizados. *Unican*, 2019.

[19] Thomas G. Weiser. Generalidades sobre los traumatismos torácicos. *Manual MSD Versión para profesionales*, 2020.

[20] Philbert Yuan Van. Revisión de los traumatismos abdominales. *Manual MSD Versión para profesionales*, 2019.

[21] F. Anamaría Pacheco1. Trauma de abdomen. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 22(5):623–630, 2011.

[22] Danielle Campagne. Fracturas pelvianas. *Manual MSD Versión para profesionales*, 2019.

[23] 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. [Online]; accedido 12/05/2021.

[24] Pablo Jorge Monjas. Traumatismo de extremidades. unidad docente de anestesiología y patología crítica. departamento de cirugía. universidad de valladolid. http://biocritic.es/wp-content/uploads/2020/04/Traumatismo-grave-de-extremidades.pdf, 2020. [Online]; accedido 18/05/2021.

[25] TAC Tecnología de Alta Complejidad. Emergencia prehospitalaria y traslados. http://www.tacargentina.com.ar/category/emergencia-prehospitalaria-y-emergencia/. [Online]; accedido 18/05/2021.

[26] B.Riou B.Vivien. R.Jouffroy, O.Langeron. Tratamiento del traumatismo grave del adulto en las primeras 24 horas. *EMC - Anestesia-Reanimación*, 42(1):1–22, 2016.

[27] Asociación española de cirujanos. Cursos atls (advanced trauma life support). https://www.aecirujanos.es/Cursos-ATLS-Advanced-Trauma-Life-Support_es_104_7_0_117_118.html. [Online]; accedido 14/05/2021.

[28] Victor Yañez Castillo. Evaluación primaria abc del trauma. http://www.medynet.com/usuarios/jraguilar/ABC%20DEL%20TRAUMA.pdf. [Online]; accedido 14/05/2021.

[29] Fernando Campos. Valoración primaria abcde. http://formacionenemergencias.blogspot.com/2012/07/valoracion-primaria-abcde.html, 2012. [Online]; accedido 14/05/2021.

[30] José Ramón Aguilar. Atención inicial al paciente politraumatizado. http://www.medynet.com/usuarios/jraguilar/atencion%20inicial%20al%20paciente%20politraumatizado.pdf. [Online]; accedido 17/05/2021.

[31] Dr. Neftalí Cárdenas-Herrera. Dr. Giancarlo Ferretiz-López. Evaluación secundaria. *Revista Mexicana de Anestesiología*, (1), 2018.

[32] Miguel Angel Alvarez. Qué es react. por qué usar react. https://desarrolloweb.com/articulos/que-es-react-motivos-uso.html, 2029. [Online]; accedido 23/05/2021.

[33] Introducción a express/node. https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/Server-side/Express_Nodejs/Introduction, 2021. [Online]; accedido 23/05/2021.

[34] Ángel Robledano. Qué es mysql: Características y ventajas. https://openwebinars.net/blog/que-es-mysql/, 2019. [Online]; accedido 23/05/2021.

[35] Rafa Ramos. ¿qué es javascript y para qué sirve? https://soyrafaramos.com/que-es-javascript-para-que-sirve/, 2020. [Online]; accedido 07/06/2021.

[36] Gustavo B. ¿qué es html? explicación de los fundamentos del lenguaje de marcado de hipertexto. www.hostinger.mx/tutoriales/que-es-html, 2020. [Online]; accedido 11/06/2021.

[37] Css. https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/CSS, 2021. [Online]; accedido 11/06/2021.

[38] Sanchit Aggarwal. Modern web-development using reactjs. *International Journal of Recent Research Aspects*, 5(1):2349–7688, 2018.

[39] Gerardo Fernández. Una introducción al virtual dom de react y la forma en que optimiza el pintado de las aplicaciones. https://latteandcode.medium.com/y-eso-del-virtual-dom-de-react-qu%C3%A9-es-3feed6366925, 2019. [Online]; accedido 11/06/2021.

[40] Judit Cabana. ¿qué es node.js y para qué sirve? https://www.drauta.com/que-es-nodejs-y-para-que-sirve, 2017. [Online]; accedido 11/06/2021.

[41] Jesús Lucas. Qué es nodejs y para qué sirve. https://openwebinars.net/blog/que-es-nodejs/, 2019. [Online]; accedido 11/06/2021.

[42] Carlos Antonio Azañón Cáceres and Luis Fernando de Mingo López. Proyecto fin de máster. http://oa.upm.es/43116/8/TFM_CARLOS_ANTONIO_AZANON_CACERES.pdf, 2015. [Online]; accedido 11/06/2021.

[43] Introducción a express/node. https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/Server-side/Express_Nodejs/Introduction, 2021. [Online]; accedido 11/06/2021.

[44] Yanette Díaz González and Yenisleidy Fernández Romero. Patrón modelo-vista-controlador. *Telemática*, 11(1):47–57, 2012.

[45] Andrea Núñez-Torrón Stock. ¿qué es una api y para qué sirve? todo lo que necesitas saber. https://www.businessinsider.es/api-sirve-todo-necesitas-saber-861403, 2021. [Online]; accedido 18/06/2021.

[46] Ángel Arias. *Bases de Datos con MySQL: 2ª Edición*. IT Campus Academy, 2014.

[47] César Pérez López. *MYSQL para Windows y Linux*. 2004.

[48] ¿qué es sql? https://datademia.es/blog/que-es-sql. [Online]; accedido 11/06/2021.

[49] SAUL ALEJANDRO MENESES. Cómo usar un orm en node.js. https://rosolutions.com.mx/blog/index.php/2018/08/06/como-usar-un-orm-en-node-js/, 2018. [Online]; accedido 28/05/2021.

[50] Cristian Moreno. Sequelize 101. https://medium.com/@khriztianmoreno/sequelize-101-5810bfa1332f, 2018. [Online]; accedido 28/05/2021.

[51] Crud: la base de la gestión de datos. https://www.ionos.es/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/crud-las-principales-operaciones-de-bases-de-datos/, 2019. [Online]; accedido 01/06/2021.

[52] Regex o expresiones regulares: la manera más sencilla de describir secuencias de caracteres. https://www.ionos.es/digitalguide/paginas-web/creacion-de-paginas-web/regex/, 2019. [Online]; accedido 26/05/2021.

[53] Joaquın Olivera. Jwt: Json web token. *Universidad Católica" Nuestra Señora de la Asunción", Teoría y Aplicación de la Informática*, 2:18, 2014.

[54] Taha Sufiyan. Understanding jwt authentication with node.js. https://www.simplilearn.com/tutorials/nodejs-tutorial/jwt-authentication: :text=JSON %20Web %20Token %20(JWT) %20is,parties %20a s %20a %20JSON %20object.text=The %20information %20in %20a %20JWT,a %20pu blic %2Fprivate %20key %20pair., 2021. [Online]; accedido 03/06/2021.

[55] Jonathan Petitcolas. Creating json web token in javascript. https://www.jonathan-petitcolas.com/2014/11/27/creating-json-web-token-in-javascript.html, 2014. [Online]; accedido 03/06/2021.

[56] Cuestionario de usabilidad. https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdEc4pXHaRjtQ2fI9PCFEKCHo4Bhzsz7iH1koy31e3aS3RFDQ/viewform?usp=sf_link.

[57] Sandra Margarita Maldonado Luna. Manual práctico para el diseño de la escala likert. *Revista Xihmai*, 2(4), 2007.

Apéndice A

Aspectos sociales, económicos, éticos y ambientales

Tras finalizar de este Trabajo de Fin de Grado desarrollando e implementando un simulador clínico web interactivo para el tratamiento de traumas graves, se procede a analizar el impacto haya podido tener durante su desarrollo o que puede llegar a tener en lo relativo a los aspectos social, económico, ético y ambiental.

A.1. Aspecto social

Uno de los impactos más importantes de este Trabajo de Fin de Grado es el impacto social. La rapidez de actuación frente a un traumatismo grave es esencial, por lo que el entrenamiento previo de los profesionales médicos mediante el simulador fomenta la toma de decisiones rápidas y certeras. El desarrollo de este simulador surge con la idea de entrenar a los profesionales y como consecuencia ayudar a todas las personas con trauma grave.

A.2. Aspectos económicos

El error médico o la falta de rapidez a la hora de actuar pueden suponer la necesidad de aplicar más tratamientos médicos al paciente, aumentando el gasto médico. Los simuladores clínicos ayudan a reducir este tipo de gastos sanitarios ya que, gracias a ellos, los profesionales clínicos pueden practicar situaciones similares a las que se pueden encontrar durante su carrera profesional.

A.3. Aspecto ético

Este Trabajo de Fin de Grado no presenta un gran impacto ético. Se puede mencionar que, tanto con el paciente virtual como con el uso del simulador, ha de haber un uso responsable por parte del profesional médico de igual manera que se haría con un paciente real, mejorando así sus habilidades.

A.4. Aspecto ambiental

En cuanto al aspecto ambiental no hay un gran impacto por parte del simulador, aunque si se debe destacar que al ser un simulador web no requiere fabricación externa con lo que no se generan residuos que tengan impacto en el medio ambiente.

Apéndice B

Presupuesto económico

Este Trabajo de Fin de Grado se ha desarrollado a lo largo de cinco meses gracias a la colaboración del Hospital Universitario La Paz y al departamento de Fotónica y Bioingeniería. A continuación, se detallará el presupuesto asignado a los costes tanto de material como de personal.

- **Costes de Personal**: Se ha calculado según los datos obtenidos del COIT (Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación). El COIT establece que la media del salario de un recién graduado y de un profesional con aproximadamente 15 años de experiencia es de unos 23.500€y unos 50.000€anules respectivamente, lo que deja un coste por hora trabajada de aproximadamente 12,50€y 26,50€respectivamente. A partir de estas estimaciones se realiza el cálculo del coste de personal que se muestra en la Tabla B.1.

	Coste horario (€)	**Horas**	**Total (€)**
Director del trabajo	26,50	30	795
Estudiante de ingeniería	12,5	400	5.000
TOTAL			**5.795**

Tabla B.1: Costes de personal.

- **Costes de recursos materiales**: Para el desarrollo del simulador de este Trabajo de Fin de Grado se ha utilizado como herramienta principal un terminal OMEN HP con procesador i7, 16GB de RAM, 256GB de memoria SSD y 1TB de disco duro. Al tener 5 años de vida sólo se calculará el presupuesto correspondiente al año en el que se ha utilizado para desarrollar este Trabajo de Fin de Grado (ver Tabla B.2).

	Tiempo de vida (años)	Uds.	Coste (€)	Amortización (€/mes)	Uso (meses)	Total (€)
OMEN HP	5	1	2000	33,33	5	166,66
TOTAL						**166,66**

Tabla B.2: Costes de recursos materiales.

Por último, se muestra en la Tabla B.3 el desglose total de los gastos con IVA incluido.

	Coste
Costes de personal	5.795€
Costes de material	166,66€
Subtotal	5.961,66€
IVA	1.251,95€
Total	7.213,61€

Tabla B.3: Costes totales.

Apéndice C

Manual de Usuario

El manual de usuario descrito a continuación es el manual que se entregó a los profesionales médicos para la validación de la usabilidad de simulador.

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 a través del siguiente enlace: http://138.100.21.252:3000/
2. Selecciona la opción: regístrate e introduce tus datos.

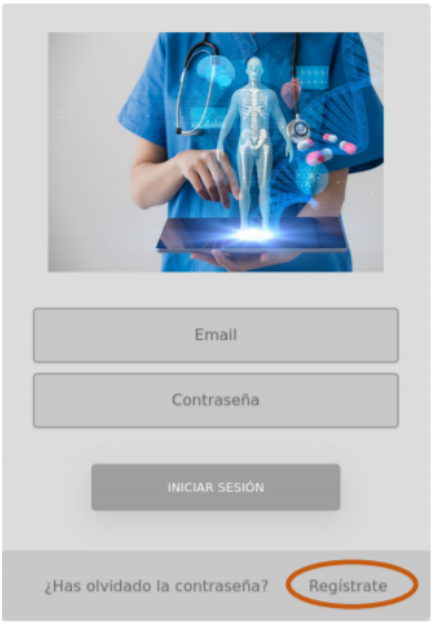


Figura C.1: Pantalla inicial del simulador: Registrarse.

El registro se llevará a cabo como estudiante. Se deberán cumplimentar todos los campos para poderse registrar. 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.

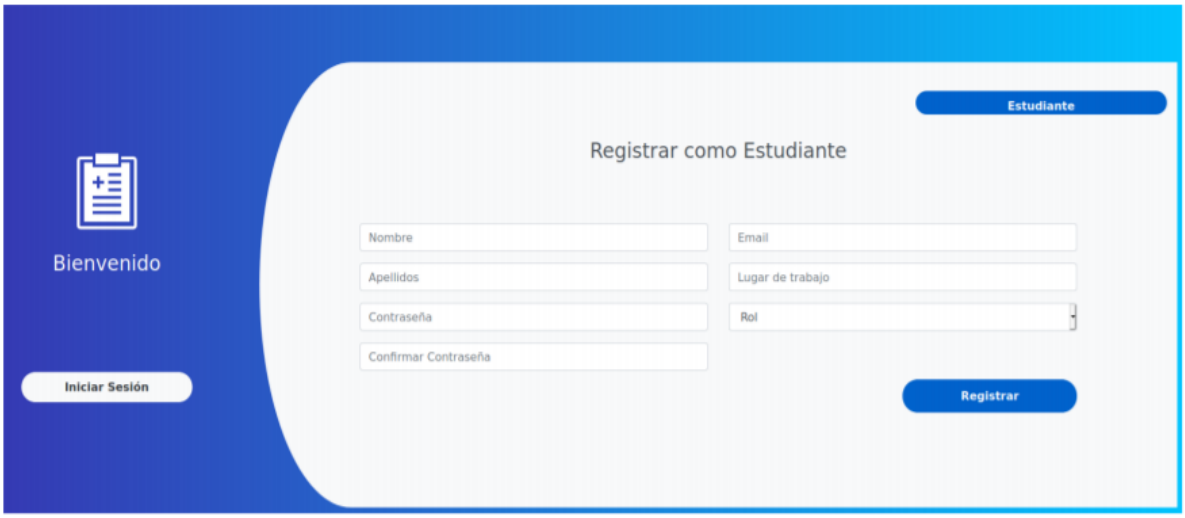


Figura C.2: Pantalla de registro del simulador.

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.

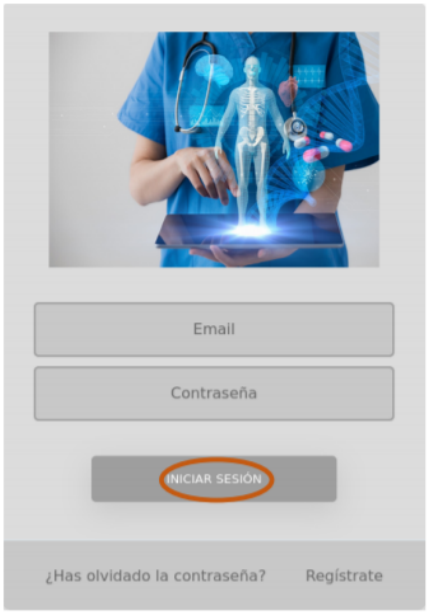


Figura C.3: Pantalla inicial del simulador: Iniciar sesión.

4. Aparecerán dos opciones:
    - Examen
    - Entrenamiento

Figura C.4: Pantalla principal tras el inicio de sesión con rol de estudiante.

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 siguiente figura se muestran las simulaciones que aparecerán en la opción de entrenamiento y a las cuales se podrá acceder tantas veces como se considere:

Figura C.5: Pantalla de selección de simulaciones en modo 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.

Figura C.6: Pantalla de selección de simulaciones en modo entrenamiento: Entrar.

6. Lo primero que aparecerá será un cuadro de texto informativo con datos del paciente. Una vez cerremos esta ventana, aparecerá el paciente.

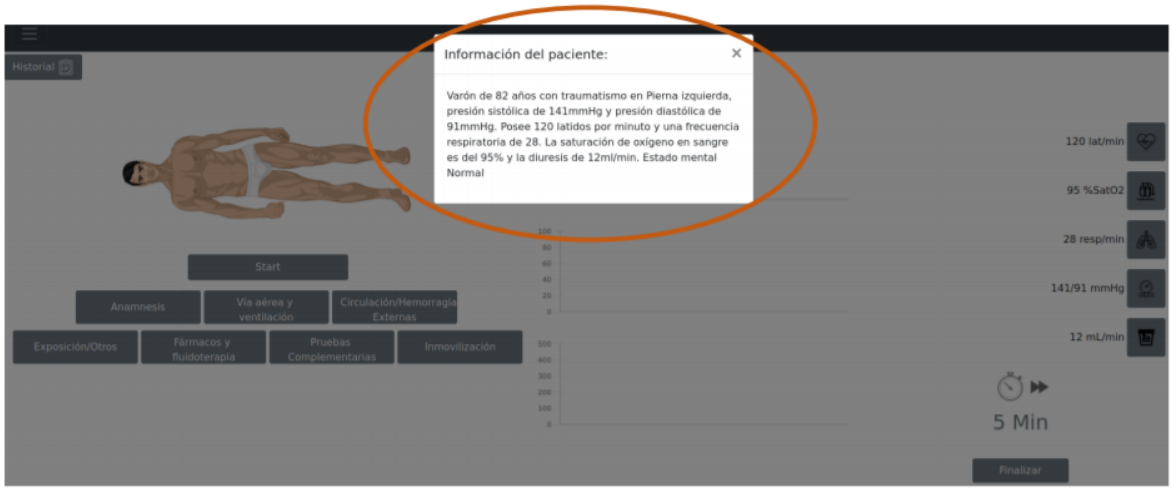


Figura C.7: Pantalla de una simulación: Información del paciente.

7. Seleccionar la opción "Start" cuando se esté preparado para comenzar la simulación.

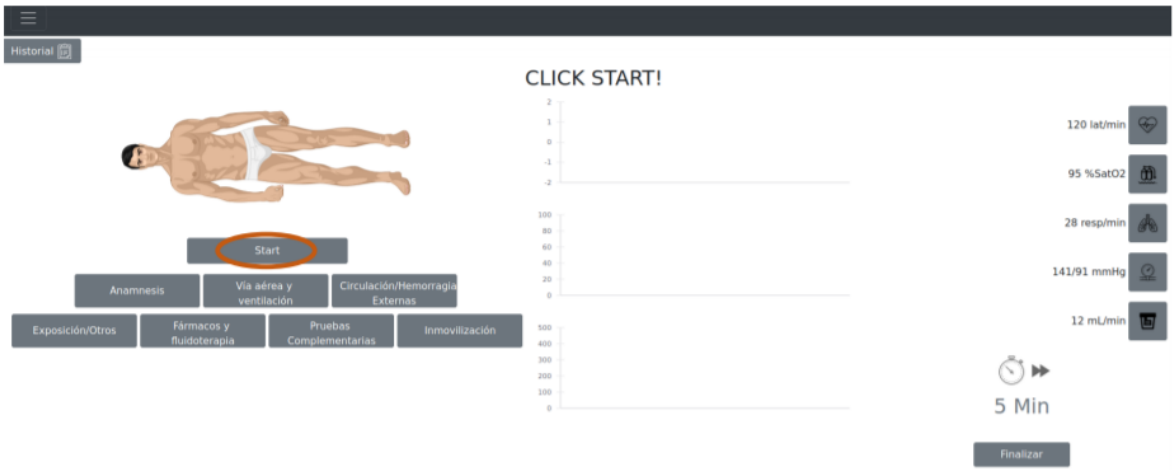


Figura C.8: Pantalla de una simulación: Start.

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 que aparecerán en esta sección (se explica más adelante) 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. También se puede

finalizar la simulación en cualquier momento si se considera que ya se ha tratado y/o estabilizado al paciente.

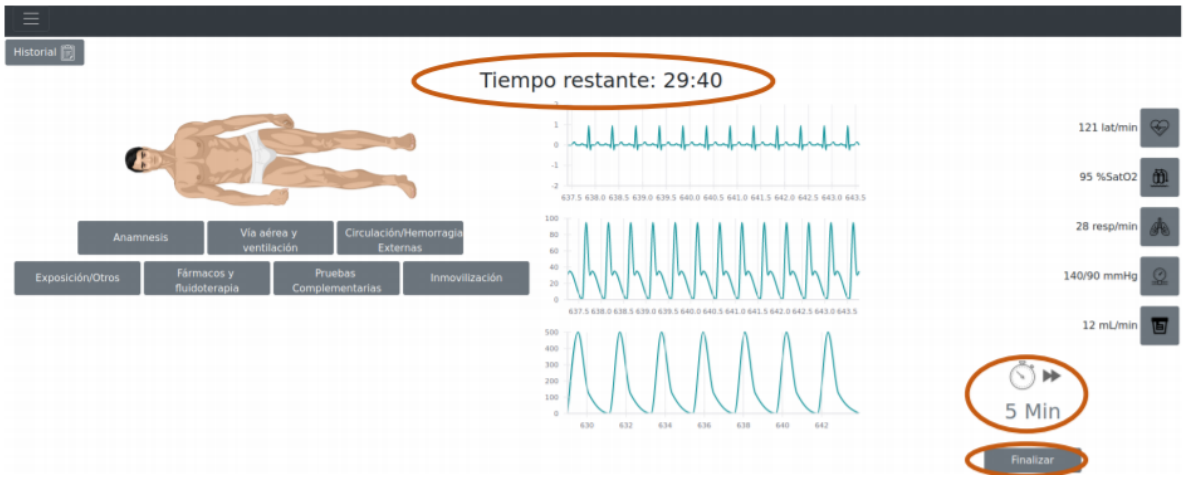


Figura C.9: Pantalla de una simulación: partes principales.

8. En caso de pedir una placa de rayos X, los resultados estarán disponibles en el menú que aparece arriba a la izquierda:

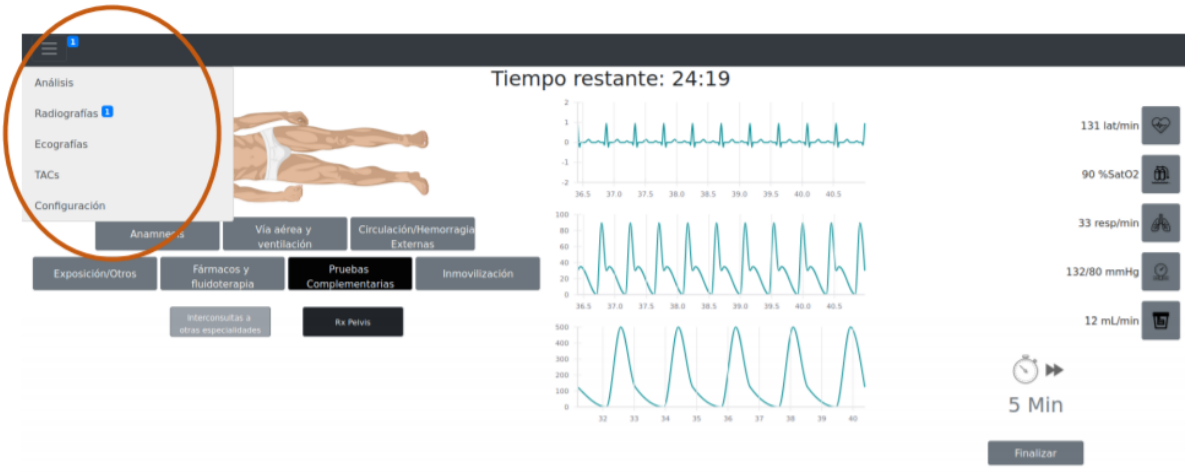


Figura C.10: Pantalla de una simulación: Resultadosd de las pruebas.

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. 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.

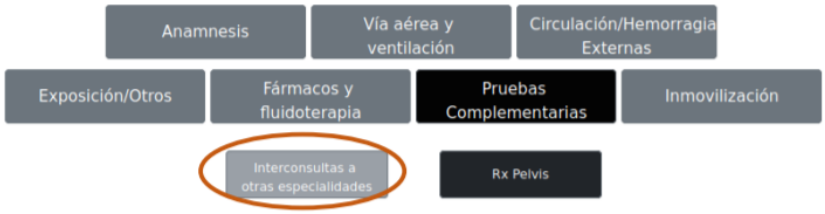


Figura C.11: Pruebas complementarias: Interconsultas.

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, refrescando la página.

    También se podrá volver a entrar en la simulación seleccionando la opción "volver a entrar". De esta manera, se podrán entrenar los distintos casos las veces que se quiera durante las dos semanas.

Figura C.12: Pantalla de selección de simulaciones en modo entrenamiento: Descargar informe o Volver a entrenar.

11. Finalmente, se precisará cumplimentar un cuestionario que está accesible en el siguiente enlace: https://forms.gle/ZxgGEYz2v1KMFc6C9

Apéndice D

Manual del Desarrollador

Como se ha descrito durante este Trabajo de Fin de Grado, la aplicación se encuentra dividida en dos partes principales: el frontend y el backend, estas partes se desplegarán mediante Docker. Para el desarrollo del simulador será imprescindible la instalación de estos entornos:

- **Node.js** versión 10.x o superior. Además, se deberá instalar Express que albergará el servidor y la librería React para desarrollar la parte visual del simulador.
- **MySQL** para la creación de la base de datos.
- **Docker Engine** y **Docker Compose**.
- **Visual Studio Code** es el entorno utilizado para escribir y desarrollar el código de la aplicación.

Debido a que la aplicación se despliega en Docker, la instalación de Node.js no es necesaria puesto que Docker contará con todos los requisitos necesarios para el despliegue y se configurarán durante el diseño de las imágenes Docker. Precisamente, cuenta con Node.js y MySQL. La aplicación también se puede arrancar manualmente sin necesidad de Docker.

El código fuente de la aplicación está disponible en `https://github.com/luiscastanedalopez/trauma-simulator/tree/Patricia`. Una vez descargado hay que abrir un terminal en el directorio y escribir:

```
$ sudo docker-compose up –build
```

La aplicación estará operativa en `http://localhost:3000`. A continuación, se detalla el desarrollo de cada una de las partes de la aplicación.

D.1. Frontend

En el frontend están presentes varios archivos y directorios, para la implementación de lo llevado a cabo en este Trabajo de Fin de Grado nos centraremos en el directorio *src*. En este directorio, se encuentran todos los componentes React creados que forman las diferentes vistas de la aplicación (ver Figura D.1).

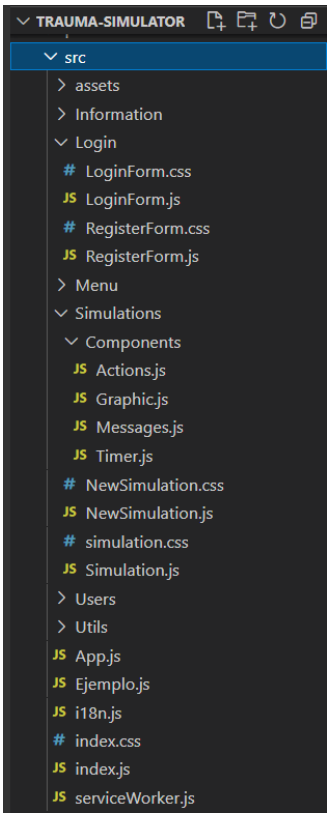


Figura D.1: Directorio *src* del frontend.

Los directorios y archivos principales para este Trabajo de Fin de Grado son:

- **App.js**: fichero en el cual se indica la ruta en la que se localizan cada una de las vistas.
- **Simulations:** directorio en el que se encuentran todos los archivos relativos a la vista de una simulación. Cabe destacar:
  - Simulation.js: es el archivo que determina la vista principal de la simulación. En este archivo se ha desarrollado los mayores cambios para aportar más realismo al simulador. Estos cambios son: la implementación la línea temporal de evolución natural del paciente, la implementación de los diferentes tipos en los que se dividen las acciones, la implementación de la gestión de las acciones simultaneas y la implementación del desarrollo de las constantes al pulsar el botón de adelantar 5 minutos.
  - Components: es el directorio en el que se encuentran algunos de los componentes de la simulación: las acciones, las gráficas, los mensajes que salen al realizar alguna acción y el temporizador de la simulación. *Actions.js* es el archivo dentro de *Components* donde se han implementado cada una de las acciones definiendo que constante o constantes vitales modifica, el número de puntos que sube o baja por minuto el valor de la constante vital, el tiempo de duración, el tipo de acción que es de acuerdo a los que se definen en *Simulation.js* y el tiempo de latencia.

- **Login**: es el directorio en el que se encuentran los dos archivos relativos a los formularios de registro, *RegisterForm.js*, y de acceso a la aplicación, *LoginForm.js*. En estos archivos se han realizado los cambios relativos a la validación de los datos introducidos a través del frontend.

- **Utils**: es el directorio en el que se encuentra el archivo *Common.js* que administra el inicio y el cierre de sesión administrando el token y los datos del usuario.

D.2. Backend

En el backend se encuentra el directorio src donde se encuentra todo el código del servidor y de la base de datos. El directorio *src* cuenta con los siguientes directorios y ficheros (ver Figura D.2): ´

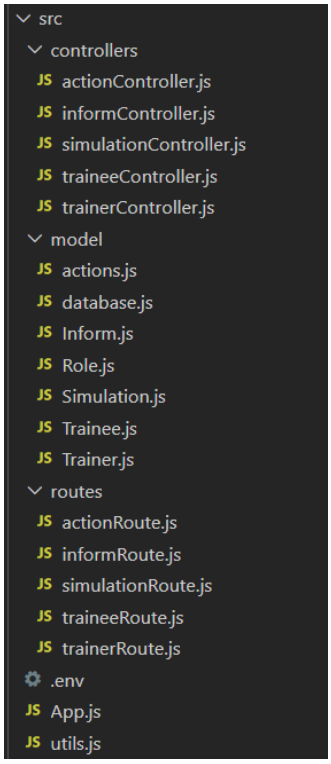


Figura D.2: Directorio *src* del backend.

- **App.js:** se encuentran la configuraciones para el arranque del servidor en el entorno Express como, por ejemplo, el puerto TCP/IP en el que está accesible el servidor o la conexión con las rutas de las distintas APIs.

- **Controllers:** es el directorio que contiene los archivos JavaScript que forman las distintas APIs de la aplicación. En ellos se han implementado las funciones

explicadas del método CRUD para la gestión de los datos de las tablas de la base de datos.

- **Model:** directorio en el que se encuentran archivos para la creación y configuración de la base de datos. El archivo *database.js* facilita la conexión con la base de datos. El resto de los archivos representan cada tabla de la base de datos. Concretamente en *Simulation.js*, en *Trainee.js* y en *Trainer.js* es donde se han implementado las validaciones y restricciones para la entrada de datos.
- **Routes:** es el directorio que contiene los archivos que mapean cada ruta establecida a la API correspondiente desarrollada en *controllers*.
- **.env:** almacena la clave JWT para administrar el token.
- **utils.js:** archivo para la gestión del token de autenticación.