UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN

GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS Y SERVICIOS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR CLÍNICO WEB INTERACTIVO PARA EL TRATAMIENTO DE TRAUMATISMOS.

LAURA FERNÁNDEZ GALINDO

2022

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN

GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS Y SERVICIOS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR CLÍNICO WEB INTERACTIVO PARA EL TRATAMIENTO DE TRAUMATISMOS.

Autora
LAURA FERNÁNDEZ GALINDO

Tutores

LUIS CASTAÑEDA LÓPEZ
BLANCA LARRAGA GARCÍA

2022

Resumen

En la actualidad, la enfermedad traumática grave es considerada una de las principales causas de muerte en el mundo. Tiene un gran impacto emocional, económico y social. Presenta una elevada tasa de mortalidad. También cabe destacar, la gran cantidad de discapacidades que deja a su paso. La respuesta de los clínicos ante esta enfermedad debe ser rápida y eficaz.

Este simulador web interactivo nace con el objetivo de contribuir de forma positiva en el tratamiento de pacientes con lesiones traumáticas graves. El uso de esta herramienta va a permitir a los clínicos reforzar los protocolos de actuación y aprender y mejorar en sus habilidades médicas. También podrán enfrentarse a escenarios poco comunes y entrenar sobre ellos. Como resultado, los profesionales médicos van a adquirir mayores destrezas ante el tratamiento de la enfermedad traumática grave.

Para alcanzar este objetivo, el simulador cuenta con cuatro escenarios clínicos, en los que los profesionales van a poder entrenar y mejorar sus técnicas. Estos escenarios representan tanto el ámbito hospitalario como el prehospitalario. Los profesionales médicos van a poder observar cómo afectan cada una de sus acciones en las constantes vitales del paciente y, de esta forma, determinar el mejor tratamiento a aplicar.

Adicionalmente, se ha implementado un sistema de evaluación automatizada. Esto va a permitir a los usuarios conocer de forma automática y objetiva cómo han realizado la simulación. De esta manera, podrán estudiar el impacto que sus acciones han tenido durante la simulación.

Palabras clave: Simulador, traumatismo, protocolo, casos clínicos, evaluación automatizada.

Abstract

Nowadays, severe trauma injuries are considered to be one of the main causes of death globally. This disease is related with great emotional, economic and social impact and has a high mortality rate. It should also be noted the large amount of disabilities left in its wake. The response of clinicians to this disease must be rapid and effective.

The aim of this interactive web simulator is to make positive contributions to the treatment of patients with serious traumatic injuries. By using this tool, clinicians will have their action protocols reinforced and their medical skills improved. They will also be able to face up to unusual scenarios and train with them. As a result, medical professionals will acquire greater skills in the treatment of the severe traumatic illness.

In order to achieve this goal, the simulator has four clinical scenarios, in which professionals will be able to train and improve their techniques. These scenarios are set both in the hospital and the pre-hospital settings. Medical professionals will be able to observe how each of their actions affects the vital signs of the patient and, therefore, determine the best treatment to apply.

Additionally, an automated evaluation system has been implemented. This will allow users to know automatically and objectively how they have performed the simulation. Thus, they will be able to study the impact that each of their actions will have had throughout the process.

Keywords: Simulator, trauma injuries, action protocols, evaluation system, clinical scenarios, automated evaluation.

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría mostrar mi agradecimiento a mis tutores: Blanca Larraga García y Luis Castañeda López. Gracias por brindarme la oportunidad de formar parte de este proyecto y prestarme ayuda siempre que lo he necesitado.

Gracias a mis padres por ser el mayor apoyo en mi vida y mostrarme siempre el camino a seguir. Gracias a mi hermana por inculcarme que con esfuerzo y trabajo todo se consigue.

Gracias a mis amigos de la universidad por enseñarme un mundo completamente nuevo. En especial a Pilar, por siempre escucharme cuando tengo un mal día. A Nacho por enseñarme que la universidad tiene mucho que ofrecer. Y a Pati por aguantarme y por ofrecerme su ayuda siempre.

Por último, gracias a mis amigas del cole por estar a mi lado siempre. Y a vosotras Julia y Raquel por aguantar todas mis preocupaciones y mostrar siempre vuestro apoyo.

Índice general

Resumen III

Abstract IV

Agradecimientos V

Índice General VI

Índice de Figuras VIII

Índice de Tablas X

Lista de Acrónimos XI

1. Introducción **1**
1.1. Simulación Clínica . . . 1
1.2. Historia de la simulación . . . 1
1.3. Tipos de simuladores . . . 3
1.4. Ventajas e inconvenientes de la simulación clínica . . . 5
1.5. Necesidad de evaluar el grado de aprendizaje . . . 5
1.5.1. Simuladores utilizados en las formaciones del tratamiento de trauma . . 6
1.6. Motivación y objetivos . . . 6
1.7. Planificación del proyecto . . . 7

2. Enfermedad traumática grave **8**
2.1. Enfermedad traumática grave . . . 8
2.1.1. Epidemiología . . . 8
2.1.2. Dimensiones del problema . . . 9
2.2. Clasificación de los Traumatismos . . . 9
2.2.1. Traumatismo Craneoencefálico . . . 9
2.2.2. Traumatismo Torácico . . . 11
2.2.3. Traumatismo Abdominal . . . 11
2.2.4. Traumatismo Pélvico . . . 12
2.2.5. Traumatismo Extremidades . . . 13
2.3. Tratamiento de los Traumatismos . . . 13
2.3.1. Evaluación primaria . . . 13
2.3.2. Evaluación secundaria . . . 16
2.4. Protocolos de actuación . . . 16
2.4.1. Traumatismo craneoencefálico . . . 17
2.4.2. Traumatismo torácico . . . 17
2.4.3. Traumatismo abdominal . . . 17
2.4.4. Traumatismo pélvico . . . 18

2.4.5. Traumatismo en extremidades 18

3. Simulador Web Interactivo 19
3.1. Descripción general del simulador clínico 19
3.1.1. Funcionamiento 19
3.1.2. Interfaz Principal 20
3.2. Arquitectura utilizada 22
3.2.1. Modelo 23
3.2.2. Controlador 24
3.2.3. Vista 24
3.2.4. Otras tecnologías: 25

4. Módulo evaluación 26
4.1. Acciones obligatorias 27
4.2. Algoritmos usados 28

5. Desarrollo software y pruebas de funcionamiento 33
5.1. Base de datos relacional 33
5.2. Implementación del método de evaluación 35
5.2.1. Tabla Evaluations 35
5.3. Otras mejoras implementadas 38
5.3.1. Registro 39
5.3.2. Sesiones activas 39
5.4. Pruebas de funcionamiento 40

6. Conclusiones y líneas futuras 42
6.1. Conclusiones 42
6.2. Líneas futuras 43

Apéndices 48
A. Aspectos éticos, económicos, sociales y ambientales 48
A.1. Aspectos sociales 48
A.2. Aspectos económicos 48
A.3. Aspectos éticos 48
A.4. Aspectos ambientales 48
B. Presupuesto económico 49
C. Manual de Usuario 51
D. Manual de Desarrollador 65
D.1. Frontend 65
D.2. Backend 66
E. Acciones 68
F. Pruebas de Validación 70
F.1. Sesiones simultáneas 70
F.2. Diferentes resultados de evaluación en función del escenario 72
F.3. Como se rellena la base de datos después de realizar una simulación . . 73
F.4. Prueba de que el informe guarda los valores correctamente 74
G. Informe 77

Índice de figuras

1.1. Resuci Anne 2
1.2. SimeOne 2
1.3. Simulador de baja fidelidad 3
1.4. Simulador de fidelidad intermedia 4
1.5. Simulador de alta fidelidad 4

2.1. Distribución por causas de la mortalidad debida a lesiones traumáticas 8
2.2. Distribución por franjas de edad de los fallecidos por accidente de tráfico en España en el año 2012 9
2.3. Escala de Glasgow puntuación en función del tipo de respuesta 10
2.4. Partes de un cráneo 11
2.5. Traumatismo pélvico. Tipo A 12
2.6. Traumatismo pélvico. Tipo B 12
2.7. Traumatismo pélvico. Tipo C 12
2.8. Colocación de una cánula orofaríngea 14

3.1. Maniquí con collarín cervical y mascarilla de oxígeno 20
3.2. Monitor de constantes vitales 20
3.3. Batería de acciones de la categoría de vía aérea y ventilación para un escenario prehospitalario 21
3.4. Batería de acciones de la categoría de pruebas complementarias para un escenario hospitalario 21
3.5. Interfaz principal del simulador en un entorno prehospitalario 22
3.6. Patrón Modelo-Vista-controlador 23

4.1. Cadenas de acciones. La primera secuencia representa la cadena de acciones ideales a realizar y la segunda, las acciones realizadas por el usuario 29
4.2. Secuancia ideal a realizar y secuencia realizada por el usuario resaltando las subsecuencias que se repiten. En este caso aparecen tres subsecuencias realizadas de forma adecuada y resaltadas en verde, naranja y azul 30
4.3. Matriz de confusión 31

5.1. Estructura de la Base de Datos simplificada. 34
5.2. Estructura de la Tabla Evaluation 35
5.3. Alerta que aparece en los primeros 4 minutos 36
5.4. Alerta cuando restan 5 minutos 36
5.5. Estructura de la Tabla Evaluation 37
5.6. Lista de simulaciones con el botón Evaluar 38
5.7. Pantalla de evaluación 38
5.8. Estructura de la Tabla de Trainee. 39
5.9. Alerta de inicio de sesión. 40

7.1. Pantalla inicial del simulador: Registrarse. 51
7.2. Pantalla de registro del simulador. 52
7.3. Pantalla inicial del simulador: Iniciar sesión. 52
7.4. Pantalla principal tras el inicio de sesión con rol de estudiante. 53
7.5. Pantalla de selección de simulaciones en modo entrenamiento. 53
7.6. Pantalla de selección de simulaciones en modo entrenamiento: Entrar. 54
7.7. Pantalla de una simulación: Información del paciente. 54
7.8. Pantalla de una simulación: Información del paciente. 54
7.9. Pantalla de una simulación: partes principales. 55
7.10. Pantalla de una simulación: Resultados de las pruebas. 55
7.11. Alerta que aparece en los primeros 4 minutos, cuando no se ha hecho ninguna acción de las pertenecientes de 4 minuto 56
7.12. Alerta cuando restan 5 minutos 56
7.13. Pruebas complementarias: Interconsultas. 57
7.14. Pantalla de selección de simulaciones en modo entrenamiento: Evaluar o Volver a entrenar. 57
7.15. Pantalla de evaluar 57
7.16. Pantalla de evaluar 58
7.17. Pantalla de evaluar 59
7.18. Pantalla informativa de la Sección 1 59
7.19. Pantalla de evaluar 60
7.20. Pantalla informativa de la Sección 1 60
7.21. Pantalla de evaluación 61
7.22. Primera página del PDF informe de resultados 61
7.23. Segunda página del PDF resultados de la evaluación 62
7.24. Botón de cierra de sesión 62
7.25. Botón de actualizar la pestaña 63
7.26. Botón de cierre de pestaña 63
7.27. Alerta de inicio de sesión. 64
7.28. Directorio *src* del frontend. 66
7.29. Directorio *src* del backend. 67
7.30. Prueba del valor de la variable session. 70
7.31. Prueba del valor de la variable session. 71
7.32. Prueba de liberación de la sesión. 71
7.33. Evaluación de un esceranario prehospitalario pélvico. 72
7.34. Evaluación de un escenario pélvico hospitalario. 72
7.35. Evaluación de un escenario prehospitalario de miembro inferior. 73
7.36. Evaluación de un escenario hospitalario de miembro inferior. 73
7.37. Base de datos rellena con los valores correspondientes. 74
7.38. Prueba pantalla evaluacion I 74
7.39. Prueba pantalla evaluacion II 74
7.40. Prueba pantalla evaluacion II 75
7.41. Prueba pantalla evaluacion II 76
7.42. Prueba pantalla evaluacion II 77
7.43. Prueba pantalla evaluacion II 78

Índice de tablas

2.1. Evaluación primaria. Valoración ABCDE 16

4.1. Acciones en los 4 primeros minutos 27
4.2. Acciones mínimas 28

7.1. Costes de personal. 49
7.2. Costes de recursos materiales. 49
7.3. Costes totales. 50
7.4. Acciones Implementadas I 68
7.5. Acciones Implementadas II 69

Lista de Acrónimos

HULP: Hospital Universitario La Paz.

APVP: Años Potenciales de Vida Perdidos.

TCE: Traumatismo Craneoencefálico.

ATLS : Advanced Trauma Life Support.

AVPU: Escala de Alerta, Verbal, Dolor, Falta de respuesta.

UCI: Unidad de Cuidados Intensivo.

TAC: Totomografía Axial Computarizada.

RCP: Reanimación Cardio Pulmonar.

MVC: Modelo Vista Controlador.

API: Interfaz de Programación de Aplicaciones.

JSON: JavaScript Object Notation.

MySQL: My Structured Query Language.

SQL: Structured Query Language.

ORM: Object Relational Mapping.

NPM: Node Package Manager.

HTML: HyperText Markup Language.

CSS: Cascading Style Sheets.

DOM: Document Model Object.

CRUD: Create, Read, Update, Delete.

IA: Inteligencia Artificial.

COIT: Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicaciones.

Capítulo 1

Introducción

Este trabajo Fin de Titulación nace en colaboración con el Hospital Universitario La Paz (HULP). Su objetivo principal es la implementación de un simulador clínico web que recree situaciones lo más reales posibles. Este simulador se utilizará para formar a los clínicos ante escenarios de trauma.

La actuación frente a los traumatismos graves debe realizarse de manera rápida y eficaz. Es por ello que, herramientas como los simuladores clínicos, permiten a los profesionales interiorizar los protocolos y reglas de actuación que deben seguir cuando deban enfrentarse ante dichas situaciones.

1.1. Simulación Clínica

Los simuladores clínicos tienen como objetivo formar a los sanitarios ante determinadas situaciones. Son capaces de reproducir la fisiología humana y determinadas situaciones patológicas del paciente, tales como las que ocurren en la sala de Urgencias, en la Unidad de Cuidados Intensivos, en la Unidad de Vigilancia[UVI] o en un quirófano, de la manera más fielmente posible [1].

Gracias al uso de esta herramienta, se han conseguido corregir errores y aprender desde la propia experiencia, sin poner en riesgo la vida del paciente. La gran aceptación que han obtenido los simuladores clínicos ha provocado una revolución en la educación médica. Esto es debido a la existencia de programas de formación específicos, basados en simulación, dirigidos tanto a estudiantes de grado como de posgrado [1].

1.2. Historia de la simulación

El primer simulador que se conoce fue desarrollado en 1929, por el ingeniero Edwin A.Link. Edwin implementó un simulador de vuelo conocido bajo el nombre de *Blue Box o Link Trainer* para el entrenamiento de los pilotos [2].

Sin embargo, en el campo de la medicina, ya desde la Antigüedad se construían con barro y piedra los primeros modelos de pacientes para ensayar diferentes tratamientos y ver sus posibles efectos. La presencia de dichos simuladores ha permitido a los médicos poder diagnosticar a las mujeres en sociedades donde las leyes vigentes prohibían la exposición de algunas partes de sus cuerpos.

Ya desde el siglo III a.C se utilizaban frutas como el melón para aprender a realizar suturas. En el siglo XVIII, M. Grégoire en París creo un maniquí obstétrico, llamado *El Fantasma*, permitiendo a los médicos obstetras aprender nuevas técnicas del nacimiento, reduciendo

considerablemente la tasa de mortalidad materna e infantil [3]. También, existe documentación que muestra el uso de animales para la práctica de técnicas quirúrgicas ya desde la Edad Media.

Pero no fue hasta la segunda mitad del siglo XX cuando nació la simulación médica gracias a tres movimientos que impulsaron su desarrollo:

1. **Resuci Anne**, simulador de reanimación cardiopulmonar de gran eficacia creado por Asmund Laerdal y un grupo de médicos anestesiólogos junto con la ayuda de una fábrica de juguetes [4]. En la Figura 1.1 se muestra un ejemplo del simulador de reanimación cardiopulmonar Resuci Anne.

Figura 1.1: Resuci Anne [5]

2. **SimOne**, obra del Dr. Abrahamson a finales de los sesenta en la Universidad de Harvard. Este simulador, más moderno, se caracterizó por reproducir de manera más precisa las características humanas, ya que contaba con una respuesta fisiológica en tiempo real gracias a un programa de computación. En la Figura 1.2 se muestra el simulador, SimeOne [4].

Figura 1.2: SimeOne [6]

3. **Reforma educativa mundial**, el desarrollo de nuevas tecnologías ha permitido el despliegue de nuevas técnicas en la enseñanza. De esta manera se logra, un mayor aprendizaje en el uso y desarrollo de nuevas técnicas médicas y un correcto tratamiento a los pacientes [4]. Además, comienza a adquirir interés la investigación sobre el papel de la simulación clínica. Se comienza a estudiar los beneficios del uso de simuladores a la hora de adquirir nuevas competencias y su influencia en el desarrollo de nuevas

habilidades médicas [7]. Se publicaron artículos y estudios que impulsaron el desarrollo de los simuladores. En ellos, se demostraba que los simuladores buscaban mejorar la técnica de los profesionales médicos sin poner en peligro la vida de los pacientes. En 1999 en Estados Unidos se publicó el informe *To err is human: building a safer health system*; donde se expone que la causa principal de la muerte de los pacientes es el error humano.

En la actualidad, cada vez hay más simuladores clínicos de gran sofisticación que recrean con mayor exactitud escenarios reales gracias al avance de las nuevas tecnologías. Esto permite el desarrollo y la evolución de nuevas técnicas médicas. Adicionalmente, se han desarrollado nuevos simuladores capaces de emular tareas concretas con una alta precisión, y maniquíes de menor coste, que presentan un alta semejanza a los pacientes reales [8].

1.3. Tipos de simuladores

En función de la tecnología empleada, se van a desarrollar simuladores más o menos realistas. Es por ello, que los simuladores se clasifican en función del su grado de fidelidad, que puede ser: alta, media o baja [9].

- **Simuladores de baja fidelidad:** son simuladores que se utilizan para la adquisición de maniobras y procedimientos sencillos como sondajes, canalización de las vías venosas o práctica de las vías aéreas. Son de bajo coste debido a su baja complejidad tecnológica [10]. En la Figura 1.3 se puede observar un ejemplo de como gracias al uso de estos simuladores se pueden practicar técnicas como la Reanimación Cardio pulmonar (RCP).

Figura 1.3: Simulador de baja fidelidad. Simulación de una RCP básica [11]

- **Simuladores de fidelidad intermedia:** permiten adquirir mayores destrezas que los anteriores, dado que combinan programas informáticos y partes anatómicas, lo que les permiten acercarse más a los escenarios reales y practicar técnicas y maniobras más complejas. En la Figura 1.4 se muestra un simulador de este tipo.

Figura 1.4: Simulador de fiadelidad intermedia [12]

- **Simuladores de alta fidelidad:** también conocidos como *Human Patien Simulator* son maniquís que interactúan con el estudiante, actúan como verdaderos pacientes en sus entornos clínicos. Un ejemplo de este tipo se puede observar en la Figura 1.5.

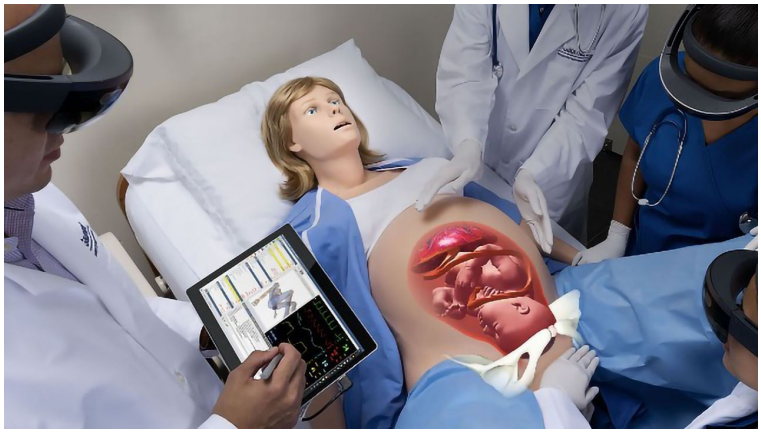


Figura 1.5: Simulador de alta fidelida [13]

También se considera simulaciones de alta fidelidad aquellas en las que los simuladores son actores que interpretan el papel de enfermos con sus correspondientes sintomatología [10].

En definitiva, la fidelidad, ha sido la que ha provocado que la simulación clínica haya sido un éxito. Dicho éxito ha sido combinación de tres elementos fundamentales. El primer elemento es la **fidelidad física o ambiental**, con la que se busca que la simulación se realice en un entorno creíble, además de permitir el desarrollo de destrezas manuales, permitiendo que el usuario pueda manipular el simulador con sus propias manos, como es el caso de los simuladores basados en maniquíes. El segundo elemento, es la **fidelidad conceptual**, donde el usuario es el que debe utilizar sus conocimientos y razonamientos para resolver un caso clínico realista. Y por último, **la fidelidad emotiva**, que busca en sus simulaciones reproducir las sensaciones emotivas que se producen en los casos reales [14] [15].

1.4. Ventajas e inconvenientes de la simulación clínica

En esta sección se van a comentar las principales ventajas e inconvenientes de la simulación clínica. En ella se van a describir las principales limitaciones que tienen los simuladores hoy en día y todos los beneficios que ofrecen [16].

Las ventajas del uso de los simuladores son múltiples, y aunque todavía es pronto para definir de forma clara y científica todos sus posibles beneficios médicos, en esta sección se van a mencionar algunas de las principales:

- Los simuladores clínicos permiten el entrenamiento repetitivo sin poner en riesgo la vida del paciente. Además, permite a los usuarios detectar errores y repetir sus simulaciones tantas veces como sean necesarias.
- Gracias al uso de esta herramienta se consigue repasar y reforzar protocolos y algoritmos de actuación.
- El uso de los simuladores clínicos permite la reproducción de casos poco frecuentes en el día a día. Consiguiendo de esta manera, que el alumno pueda aprender técnicas y procedimientos poco habituales.
- Una característica muy importante es que permite desarrollar un aprendizaje basado en la propia experiencia.
- El aprendizaje es interactivo e incluye un proceso de retroalimentación.
- Con el uso de los simuladores, detectar errores de actuación y de coordinación entre los equipos multidisciplinares resulta más sencillo.

Sin embargo, existen una serie de limitaciones que deben hacer frente los simuladores, entre las que se encuentran:

- Los profesores necesitan una formación previa del manejo del simulador, lo que dificulta su integración en el sistema educativo actual.
- Aunque las nuevas tecnologías han permitido el desarrollo de simuladores muy sofisticados, los costes de los equipos de evaluación y aulas de simulación son muy elevados.
- Actualmente, sigue siendo imposible conseguir emular cualquier aspecto de la realidad.

Con todo ello, cabe resaltar que la simulación clínica no es un sustituto de las prácticas clínicas reales, sino un instrumento complementario al aprendizaje que permite al usuario enfrentarse a situaciones poco habituales [16].

1.5. Necesidad de evaluar el grado de aprendizaje

Los simuladores consiguen la integración del conocimiento a través de la práctica. Para evaluar el conocimiento aprendido se suele contar con la supervisión de profesionales expertos del ámbito en el que se produce la simulación. Sin embargo, en la actualidad, muy pocos simuladores contemplan la posibilidad de automatizar el proceso de evaluación [17] [18], que consiste en calificar cuantitativamente y de forma objetiva el grado de aprendizaje conseguido [19] [20]. Para ello, han de ser utilizados distintos parámetros y datos que forman parte de dicha simulación. Que además de valorar la calidad de la simulación, son capaces de crear un registro de los mismos aportando información muy útil al usuario desde el punto de vista de seguimiento de las acciones realizadas durante la simulación.

1.5.1. Simuladores utilizados en las formaciones del tratamiento de trauma

El presente trabajo está enfocado al desarrollo de un simulador en traumatología, donde es necesaria una rápida actuación por parte del profesional. Para ello, es fundamental un fuerte aprendizaje basado en los protocolos de actuación existentes para este tipo de lesiones.

Los simuladores más usados en la formación del tratamiento del trauma por excelencia son los de alta fidelidad, sobre todo aquellos que usan maniquís para su proceso de simulación. En menor porcentaje también destaca el uso de simuladores de pacientes simulados y de simuladores basados en inteligencia artificial. La forma habitual de evaluar estos sistemas es por medio de listas de verificaciones y evaluaciones subjetivas realizadas por un profesional.

Todos esos métodos presentan una alta subjetividad. Existen muchos estudios, que serán mencionados más adelante, en los que se analiza como mejorar los sistemas de evaluación. Sin embargo, existen muy pocos donde se hable sobre los beneficios de una evaluación más objetiva. *Harrington et al* presenta una formación de trauma dirigida a estudiantes de ATLSA (Advanced Trauma Life Support) basada en realidad virtual [17]. La forma de evaluación desarrollada para medir el conocimiento adquirido, se basa en cuestionarios y escritos acerca de lo que se ha hecho a lo largo de la simulación. Estudios como el de *Walker et al* dirigido a residentes, incluye una combinación de métodos objetivos y subjetivos [18]. Se trata de uno de los pocos estudios que consideran la posibilidad de integrar métodos de evaluación automatizada; no obstante, no describe la forma de cómo implementarlo, simplemente, menciona la posibilidad de hacerlo. Es cierto que, el hecho de que se usen cuestionarios, permite recabar la opinión de los alumnos y conocer de primera mano qué les ha parecido la simulación, y de esta manera identificar las posibles limitaciones. Si se pudiesen incluir esos cuestionarios junto con un proceso de evaluación automatizado se producirían enormes beneficios. Por ejemplo, el estudiante podría conocer de forma más clara cuáles han sido sus acciones o cómo han repercutido en la simulación. Adicionalmente, podrían obtener información de cómo han hecho las simulaciones los diferentes usuarios y de esta forma obtener datos suficientes que contribuyan en el estudio de la eficacia del simulador.

Con todo ello, cabe resaltar la enorme brecha existente entre los métodos de evaluación actuales y la capacitación de los estudiantes de medicina en el manejo del trauma.

1.6. Motivación y objetivos

La finalidad y motivación de este Trabajo de Fin de Grado es la continuidad de la implementación de un simulador web interactivo que ayuda en el proceso de formación de los profesionales médicos. Para conseguir alcanzar ese propósito se han marcado los siguientes objetivos:

1. Desarrollo e implementación de una plataforma web que actúa como simulador clínico, resolviendo errores detectados.

2. Implementación de un sistema de evaluación que ayude al usuario a conocer cuáles han sido sus errores a lo largo de la simulación.

3. Diseñar un informe automático que, tras la simulación, recoja toda la información relevante sobre el manejo realizado para la estabilización del paciente.

4. Implementar un único acceso por usuario al simulador, para el correcto funcionamiento del programa, un mismo usuario solo puede mantener una sesión abierta en el simulador.

5. Validar el simulador clínico mediante pruebas de funcionamiento para comprobar que el simulador opera de manera correcta.

1.7. Planificación del proyecto

Para cumplir todos los objetivos propuestos descritos en el apartado anterior, este Trabajo de Fin de Grado se ha dividido en 6 capítulos:

- **Capítulo 1:** se presentan los diferentes tipos de simuladores que existen, detallando las ventajas e inconvenientes de los diferentes tipos. Adicionalmente, se detallará la motivación y objetivos de este proyecto.
- **Capítulo 2:** de manera introductoria se pondrá en contexto sobre la gravedad de la enfermedad traumática grave, presentando su incidencia y problemáticas principales. Además, se clasifican los diferentes traumatismos y se plantean protocolos que guían el manejo de los mismos.
- **Capítulo 3:** en este capítulo se explicará cómo funciona el simulador web interactivo y cuáles son sus elementos claves. Asimismo, se expondrán las tecnologías utilizadas para el desarrollo del proyecto.
- **Capítulo 4:** se centrará en como se ha realizado el proceso de evaluación, mostrando cuáles son las acciones obligatorias a realizar para un correcto tratamiento de lesiones traumática y los algoritmos utilizados para realizar el proceso de evaluación.
- **Capítulo 5:** se explicará el proceso de desarrollo de la nueva interfaz de evaluación donde los usuarios podrán ver cómo han realizado la simulación. Adicionalmente, se explican las pruebas que se han llevado a cabo para la validación de la herramienta.
- **Capítulo 6:** para terminar, en este capítulo se expondrán las conclusiones que se han extraído durante la realización de este Trabajo Fin de Grado y se plantearán las líneas futuras.

Capítulo 2

Enfermedad traumática grave

2.1. Enfermedad traumática grave

Un traumatismo es una lesión externa o interna del organismo producida por la acción de agentes físicos o mecánicos exteriores [21]. La acción de dichos agentes causa, normalmente, más de una lesión traumática, provocando un politraumatismo. El politraumatismo aparece ante la presencia de dos o más lesiones traumáticas o de una sola que presente riesgo de fallecimiento o posibilidad de secuelas graves[22].

2.1.1. Epidemiología

La enfermedad traumática grave es habitualmente provocada por accidentes de tráfico, ahogamientos, lesiones intencionadas, quemaduras o caídas. Como consecuencia de todos estos factores, cualquier traumatismo puede causar una lesión en cualquier órgano del cuerpo. En los últimos 20 años, España ha reportado alrededor de 150.000 fallecidos y 2.500.000 heridos, siendo 750.000 graves, como consecuencia de una lesión traumática [23].

Figura **??** se muestran los principales causantes de la lesión traumática.

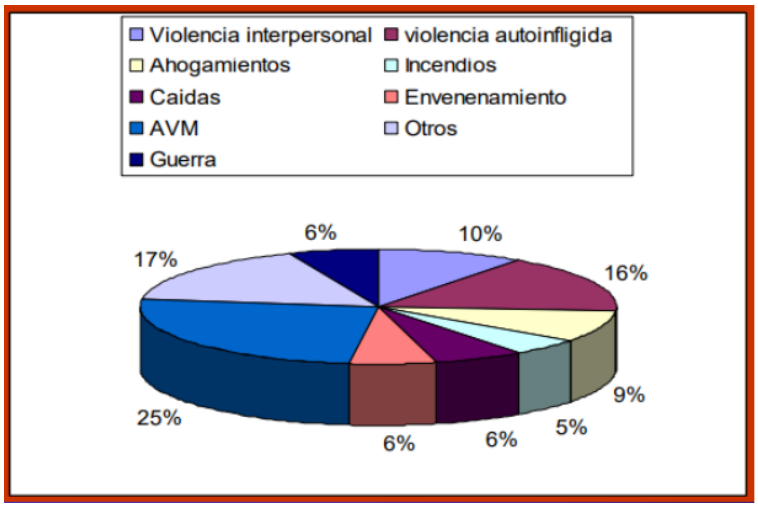


Figura 2.1: Distribución por causas de la mortalidad debida a lesiones traumáticas (OMS 2002) [24].

2.1.2. Dimensiones del problema

Actualmente, la primera causa de muerte en menores de 45 años en países desarrollados, es la enfermedad traumática grave. Esta enfermedad no solo causa fallecimientos, sino que también tiene un importante impacto económico. Esto es debido a que, el colectivo más afectado por esta enfermedad son jóvenes adultos económicamente activos [25]. En la Figura 2.2 se muestra, por franjas de edad, los fallecimientos por accidentes de tráfico.

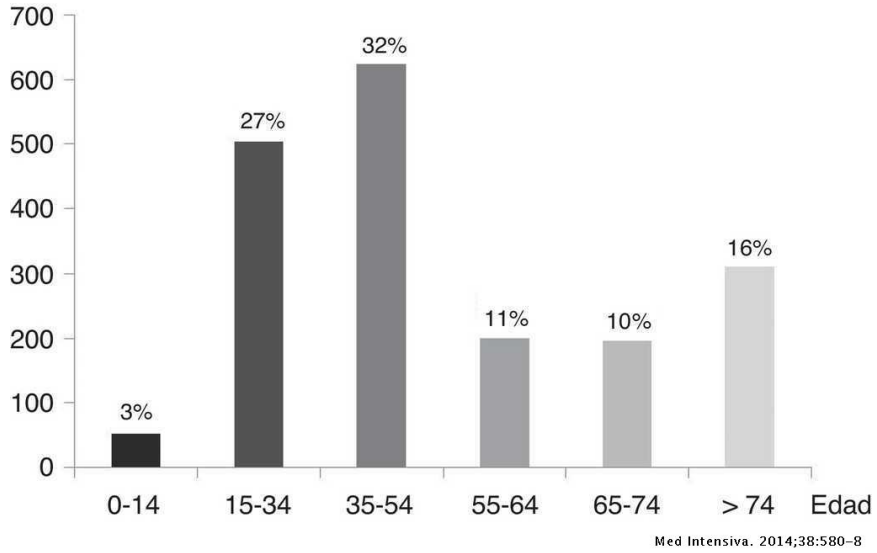


Figura 2.2: Distribución por franjas de edad de los fallecidos por accidente de tráfico en España en el año 2012. Datos de la Dirección General de Tráfico (DGT) [26].

En definitiva, la enfermedad traumática tiene un gran impacto en la sociedad actual. Una forma de entender dicho problema es observar los años potenciales de vida perdidos (APVP). Un estudio realizado por F. Alberdi Odriozola y F. Azaldegui Berroeta muestra que en 784 muertes causadas por esta enfermedad, los APVP ascendían a 26.148 [27]. Este alto número de años perdidos demuestra el impacto emocional, económico y social que causa la enfermedad traumática grave, sobre todo teniendo en cuenta que la mitad de las defunciones son de personas con edades comprendidas entre los 16 y 30 años [28].

2.2. Clasificación de los Traumatismos

En la siguiente sección se van a presentar los distintos tipos de traumatismos en función de la zona del cuerpo afectada.

2.2.1. Traumatismo Craneoencefálico

El cráneo es la parte del cuerpo que se encarga de proteger el cerebro [29]; cuando se recibe un fuerte impacto en esta parte del cuerpo, se produce un traumatismo que, muchas veces, puede no ser visible en las pruebas de imagen. En función del tipo de lesión y de la existencia o inexistencia de un cuerpo extraño penetrante encontramos dos tipos de traumatismos craneoencefálicos (TCE):

- **Cerrado** : no existe exposición del tejido cerebral y este permanece intacto al igual que los huesos que conforman el cráneo. Muy común en los accidentes de tráfico [30].

- **Abierto o penetrantes**: se produce si existe una exposición directa del cerebro debido a una ruptura de la capa de protección que lo recubre. Este tipo de traumatismo ocurre sobre todo en agresiones por arma de fuego [30].

Los TCE se clasifican siguiendo la escala de coma de Glasgow (GCS). La escala de coma de Glasgow es una escala de aplicación neurológica que mide el nivel de consciencia de una persona. Asimismo, es uno de los parámetros que cobran más importancia en la evaluación de los TCE. Evalúa la respuesta ocular, verbal y motora. Cada una de esas respuestas recibirá una calificación, que posteriormente será sumada y cuyos valores oscilarán entre 3 y 15. Siendo 3 el valor más grave y 15 el menos grave. En la siguiente Figura 2.3 se pueden observar las diferentes puntuaciones que se obtienen en función de las diferentes respuestas [31].

Figura 2.3: Escala de Glasgow puntuación en función del tipo de respuesta [32].

La escala de coma de Glasgow clasifica los traumatismos craneoencefálicos en función de su grado de severidad:

- **Leve:** en este caso la mayoría de las veces el paciente no llega a perder el conocimiento, pero si sucede, dicha pérdida suele ser de duración limitada. En la escala de coma de Glasgow presenta una puntuación entre 13 y 15 [33]. La mayoría de pacientes que sufren una conmoción cerebral leve suelen recuperarse completamente a los pocos días de sufrir el traumatismo [30].

- **Moderado:** se diferencia del anterior por presentar una pérdida de conocimiento de más de 30 minutos, aunque nunca superior a las 24 horas. Asimismo, durante la semana posterior al traumatismo, los pacientes presentan dificultades para aprender nueva información. Después de esa semana, el proceso se vuelve menos costoso [30]. En la escala de Glasgow, estos traumatismos presentan una puntuación entre 9 y 13 [33].

- **Severo:** en este caso los pacientes presentan una pérdida de conocimiento superior a 24 horas. Además, el período en el que el paciente presenta dificultades en el aprendizaje de nueva información es superior a una semana [30]. Los enfermos de esta patología presentan un pronóstico desfavorable y un gran número elevado de estos casos acaba en defunción [33]. En la escala de Glasgow presentan una puntuación entre 3 y 8 puntos [33].

Existen una serie de síntomas que alertan de la presencia de un traumatismo craneoencefálico: lentitud en la respuesta, desorientación, estado de somnolencia, vómitos, heridas en el cráneo o pérdida de memoria. Habitualmente, las áreas más afectadas suelen ser las zonas basales frontales y temporales, encargadas del desarrollo de la personalidad, lo que dificulta la total recuperación del paciente y causa un altísimo coste sanitario, personal y familiar [34]. La Figura 2.7 muestra cada una de las partes del cráneo.

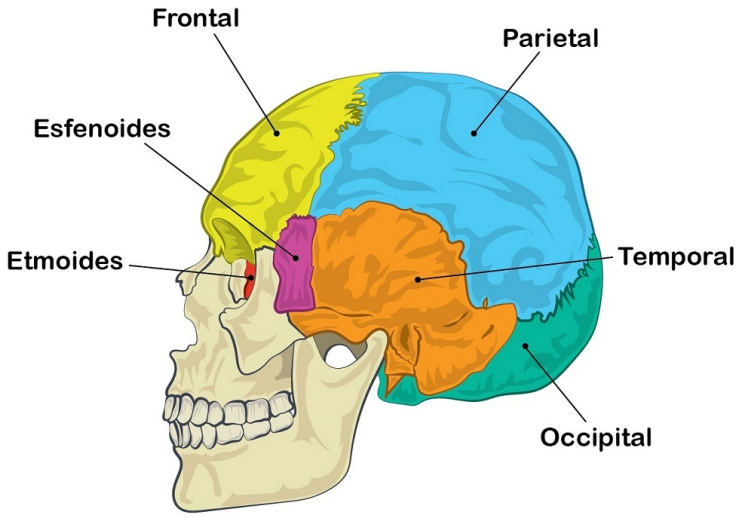


Figura 2.4: Partes de un cráneo [35].

2.2.2. Traumatismo Torácico

El tórax conforma la parte superior del tronco albergando órganos importantes tales como el corazón y los pulmones [36]. La lesión en esta parte del cuerpo puede provocar daños en los vasos sanguíneos, en el corazón, en los pulmones, en la parte superior del tórax, en el esófago, en la clavícula y en el esternón. El traumatismo torácico puede ser de tipo abierto o cerrado en función de la causa de su lesión [37].

2.2.3. Traumatismo Abdominal

El abdomen se encuentra en la zona del tronco delimitada por el diafragma, donde residen los órganos principales del aparato digestivo y del genitourinario [38]. Cuando una fuerza externa golpea esta parte del cuerpo, provoca una lesión que puede ser de dos tipos:

- **Cerrado o no penetrante:** también conocido bajo el nombre de contusión. Las heridas no penetrantes se caracterizan porque ningún objeto llega perforar la piel. El causante principal de este tipo de lesiones son accidentes laborales o peleas [39].

- **Abierto o penetrante:** denominados heridas, este tipo de lesión perfora la piel. El agente que lo produce son armas blancas, armas de fuego o explosiones [39].

2.2.4. Traumatismo Pélvico

Debajo del abdomen reside la pelvis, donde se encuentran órganos como la vejiga y el recto. En el caso de las mujeres, también se encuentran órganos como la vagina, el útero, los ovarios y las trompas de Falopio. En el caso de los hombres, la próstata y las vesículas seminales. La estructura ósea que envuelve todos estos órganos se denomina anillo pélvico [40].

Una contusión en esta parte del cuerpo provoca lesiones muy graves, por eso este tipo de traumatismo también se conoce bajo el nombre de *fractura asesina*, ya no solo por la alta mortalidad, sino también por el potencial daño a otros sistemas del cuerpo humano. Según la clasificación de Tile, el traumatismo pélvico se cataloga en función del tipo de fractura en las que se rompe el anillo pélvico y encontramos tres tipos:

- **Tipo A:** en este tipo de fracturas el anillo pélvico no se encuentra comprometido. La Figura 2.5 muestra este tipo de fractura [41].

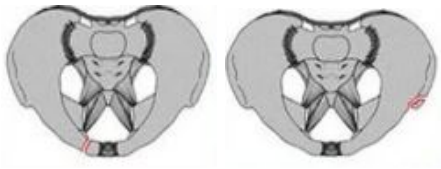


Figura 2.5: Traumatismo pélvico. Tipo A [41]

- **Tipo B:** en este caso sí que se produce una rotura del anillo en dos o más segmentos, tal como se puede observar en la Figura 2.6 [41].

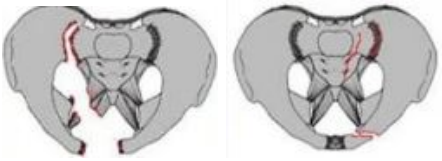


Figura 2.6: Traumatismo pélvico. Tipo B [41]

- **Tipo C:** el anillo pélvico se ve completamente dañado y sufre fracturas unilaterales como el desplazamiento de la parte derecha, o de la parte izquierda o de ambas, tal y como puede verse en la Figura 2.7 [41].

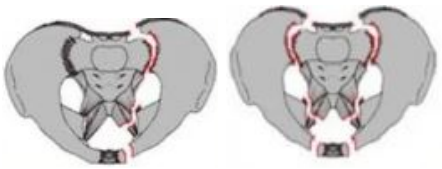


Figura 2.7: Traumatismo pélvico. Tipo C [41]

2.2.5. Traumatismo Extremidades

Las extremidades se clasifican en superiores, brazos, e inferiores, piernas. Son órganos articulados que desempeñan actividades locomotrices [27]. Este tipo de lesión es de las más atendidas en los centros hospitalarios [42]. Existen tres tipos de traumatismos en extremidades:

- **Esguinces:** se producen cuando los ligamentos que rodean la articulación se ven comprometidos debido a un movimiento forzado, provocando el estiramiento e incluso ruptura del ligamento [26].
- **Luxaciones:** este tipo de traumatismo ocurre cuando el hueso se separa y la articulación cambia de posición, provocando pérdidas en la movilidad, una deformación del área afectada y un intenso dolor [26].
- **Fracturas:** se produce, cuando el hueso se rompe, llegando a atravesar la piel en algunos casos. Las fracturas se clasifican en función de su localización, exposición y forma [26].

2.3. Tratamiento de los Traumatismos

Para el tratamiento de los traumatismos es esencial llevar a cabo una actuación rápida, estructurada y clara [43]. En enero de 1980 se impartió por primera vez en Estados Unidos y bajo la protección del Colegio Americano de Cirujanos, el curso ATLS. Dicho curso busca el tratamiento y la evaluación del paciente accidentado durante el proceso de reanimación, estabilización y traslado al centro hospitalario [30].

Actualmente, el curso ha entrenado a más de 1,5 millones de participantes, en más de 30 países por todo el mundo, y se ha convertido en un estándar de atención de trauma a nivel mundial [44]. Se caracteriza por presentar una primera evaluación conocida como 'ABCDE', que se explicará en detalle en la Sección 2.3.1. Gracias a la existencia de estos métodos, la mortalidad ha disminuido de un 68 % a un 48 % [45].

A la hora de tratar a los pacientes con traumatismos, se pueden dar dos escenarios, uno prehospitalario donde el trauma se atiende en el lugar en el que ocurre la lesión y otro hospitalario, donde el paciente es atendido en un entorno clínico. En ambos se lleva a cabo un proceso de categorización denominado triaje, en el que se realiza una primera evaluación del estado del paciente.

En ambos escenarios se lleva a cabo el proceso de actuación 'ABCDE' de manera rápida y eficaz. Posteriormente, la víctima del traumatismo es traslada directamente al centro hospitalario más cercano. El centro hospitalario contará con los recursos necesarios para el tratamiento adecuado del paciente. Asimismo, cabe destacar la importancia de una buena coordinación entre el personal prehospitalario y el hospitalario.

2.3.1. Evaluación primaria

La primera valoración se realiza aplicando el protocolo de actuación 'ABCDE', cuyo objetivo es buscar las lesiones que pongan en riesgo la vida del paciente. Este proceso debe realizarse en los primeros diez minutos de atención al paciente. Es importante destacar que este método debe aplicarse de manera periódica, poniendo una mayor atención a las situaciones de mayor riesgo para el accidentado, durante el traslado al centro hospilatario o cuando surge

alguna complicación, y de esta manera conseguir tener controlado al paciente en todo momento [46].

En las siguientes secciones se describe en profundidad el método 'ABCDE'.

- **A: Apertura de vía aérea y estabilización cervical**

  La apertura de la vía aérea se consigue mediante métodos como la elevación o subluxación mandibular y la tracción mandibular. Debe de tenerse en cuenta la posibilidad de que existan secreciones de sangre u otras sustancias. En ese caso, es necesario aspirar esas sustancias. Posteriormente, y si el paciente está inconsciente, se procede a colocar una cánula orofaríngea o cánula de Guedel, tal y como puede verse en la Figura 2.8 donde se ve la cánula ya introducida en las vías aéreas del paciente. Así, se consigue que las vías aéreas se mantengan abiertas. Es muy importante destacar la importancia de la inmovilización cervical, durante todo el proceso, mediante el uso de un collarín cervical. Este no se retirará hasta que no se asegure que no exista inestabilidad cervical ni inestabilidad de la columna vertebral [46].

  Un buen indicador de que las vías aéreas del paciente no se presentan obstruidas, se da cuando el paciente es capaz de responder al diálogo. Sin embargo, es recomendable comprobar periódicamente el estado de las vías aéreas. Por otro lado, se ha de tener en cuenta el nivel de consciencia del paciente. Si presenta una puntuación menor de 9 en la Escala de Coma de Glasgow, se llevará a cabo una intubación orotraquíal. Si no es posible dicha intubación, se intervendrá quirúrgicamente al paciente para conseguir la apertura de las vías [46].

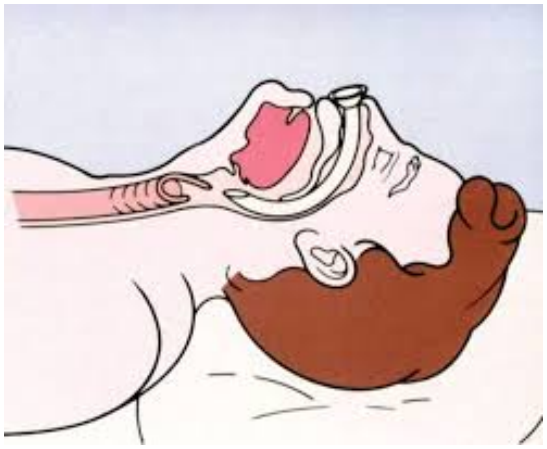


Figura 2.8: Colocación de una cánula orofaríngea [47]

- **B: Ventilación y oxigenación**

  El siguiente paso es comprobar el estado de las vías respiratorias y evaluar la capacidad de ventilación autónoma del paciente. Inicialmente, se realizará el proceso de auscultación. Posteriormente, se lleva a cabo el palpado del tórax y cuello para descartar posibles lesiones internas [46].

  Además, se debe administrar oxígeno en su máxima concentración. El uso de la mascarilla con bolsa autoinflable será necesario en el caso de que no sea posible la

respiración espontánea. En caso contrario, se colocará una mascarilla con reservorio [46].

Durante todo el proceso se debe vigilar la existencia de cualquier signo que muestre insuficiencia respiratoria o lesiones torácicas más graves, como pueden ser un neumotórax abierto o neumotórax cerrado [46]. Un neumotórax se produce cuando el aire se cuela en el espacio que se encuentra entre los pulmones y la pared torácica [48], estos se clasifican en función de la causa que lo produce: el neumotórax abierto se produce como producto de una herida torácica abierta o penetrante y el neumotórax cerrado por una herida torácica cerrada o no penetrante [49]. También, existen otros neumotórax como: el neumotórax a tensión que se produce cuando el aire que entra en la cavidad pleural no es capaz de salir fuera de ella [50].

- **C: Circulación y control de hemorragias**

  El siguiente paso es controlar las posibles hemorragias que pueden surgir como consecuencia de un traumatismo. Actualmente, constituye la primera causa de muerte en traumas [51]. Pueden existir dos tipos de hemorragias, externa o interna. En la primera se contiene el sangrado por medio de la compresión. Si no se consigue ese control, se realizará un torniquete y se hará un control exhaustivo del tiempo de aplicación para comprobar que el funcionamiento del mismo es el esperado. Para el caso de las hemorragias internas, se llevará a cabo un proceso de canalización para la perfusión de líquido al paciente, puesto que, en caso de hemorragia, es importante que el paciente no pierda un volumen excesivo de líquidos. Si este método no fuese posible, se llevaría a cabo una canalización mediante una vía intraósea, consiguiendo así compensar la pérdida de sangre del paciente [46].

- **D: Disfunción neurológica**

  En este punto del proceso de evaluación procedemos a calificar el estado de consciencia del paciente siguiendo la escala AVPU (Alerta, Verbal, Dolor y Falta de respuesta) clasificando al paciente en: alerta, verbal (respuesta a la voz), dolor (respuesta al dolor) o no respuesta. El siguiente paso es analizar el nivel de consciencia siguiendo la Escala de Glasgow. Si, por algún motivo, se detectase que el nivel de conciencia ha empeorado, se llevará a cabo un proceso de reevaluación de las etapas anteriores [46].

- **E: Exposición y control de temperatura**

  Finalmente, en esta última sección del proceso de evaluación 'ABCDE' se retira la ropa del paciente, si todavía no se había hecho, para realizar una exploración rápida. El objetivo es localizar y controlar posibles lesiones que pongan en riesgo la vida del paciente. Finalmente, con el fin de evitar la hipotermia se cubrirá al paciente con una manta térmica o se perfundirán líquidos calientes para aumentar su temperatura [46].

La siguiente Tabla 2.1 se explican los pasos principales a dar para cada paso propuesto por el protocolo ABCDE:

A. Apertura de la vía aérea y estabilización cervical
• Estabilización cervical con collarín o inmovilización bimanual • Desobstrucción de vía aérea y aspiración de secreciones, mantenimiento de vía aérea permeable
B. Ventilación y oxigenación
• Oxigenación • Valorar indicación de intubación orotraqueal • Descartar presencia de neumotórax u otras lesiones de riesgo vital inmediato
C. Circulación y control de hemorragias
• Identificación de situación de shock (constantes, pulsos, relleno capilar...) • Canalización de dos vías periféricas y/o intraósea • Obtención de gasometría y glucemia • Administración de cristaloides y tratamiento del shock • Control de hemorragias externas e internas • Identificación de taponamiento cardiaco
D. Disfunción neurológica
• Valoración según escala de AVPU (AVDN) y pupilas • Escala de Glasgow • Identificación de signos de HTIC y tratamiento
E. Exposición
• Desnudar por completo para visión general • Control de temperatura

Tabla 2.1: Evaluación primaria. Valoración ABCDE

2.3.2. Evaluación secundaria

Una vez terminado el proceso 'ABCDE', se puede dar comienzo a la evaluación secundaria. El objetivo principal de esta parte del tratamiento es detectar todas las posibles lesiones que pueda sufrir el paciente de forma exhaustiva realizando pruebas complementarias, en el caso de que fuesen necesarias. Así mismo, se procede a realizar una exploración más rigurosa y un proceso de anamnesis más detallado para completar la información recabada en las fases anteriores. Es necesario recabar todos los detalles sobre las circunstancias de la víctima: cuándo se produjo el accidente, dónde fue encontrado, en qué estado se encontraba o qué ocasionó el traumatismo [46].

2.4. Protocolos de actuación

En función de la zona afectada, los tratamientos y pruebas a realizar varían. En las siguientes secciones se explica con mayor detalle los protocolos de actuación en función del tipo de traumatismo.

2.4.1. Traumatismo craneoencefálico

Antes de comenzar con el protocolo 'ABCDE', se debe determinar si la víctima del traumatismo se encuentra estable o no. En caso de que no esté estable, será trasladado a la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) para comenzar con su tratamiento [52].

Se debe prestar especial atención aquellos pacientes mayores que inicialmente no presentan sintomatología por si en un periodo de 2-3 semanas comienzan a aparecer signos de alarma. Al igual que con los pacientes que presentan patologías hepáticas o que toman algún medicamento anticoagulante, ya que pueden presentar complicaciones [34].

La prueba más usada para su diagnóstico inicial, es la tomografía craneal computarizada cerebral. En ocasiones, cuando se quiere encontrar lesiones ocultas aún sin determinar, se realiza una Resonancia Magnética Cerebral. Si el paciente está estable, se realiza un examen neurológico valorando el posible estado de amnesia y también se le hará una analítica. Si todas estas pruebas devuelven un resultado favorable, el paciente podrá ser dado de alta; si, por el contrario, su estado empeora, se seguirá su evolución en el hospital [34].

2.4.2. Traumatismo torácico

Una vez realizado el proceso de evaluación 'ABCDE' e identificada la lesión, se llevan a cabo diferentes protocolos de actuación. En el caso de tener que hacer frente a neumotórax simple, al paciente se le administrará oxígeno de altas concentraciones, si existe deterioro respiratorio se realizará una toracocentesis conectándolo a una cálvula de Heimlich. Por otro lado, si existe un neumotórax a tensión, se realizará una toracocentesis descomprensiva mediante la introducción de un catéter en el segundo espacio intercostal para la descompresión y posteriormente se colocará un tubo de drenaje torácico en el quinto intercostal. Por último, en el caso de neumotórax abierto, se realizará el mismo proceso que el neumotórax a tensión y además por medio de una gasa húmeda se tapará la herida [53].

En el caso de los traumatismos esternal y costal, varía la forma de tratamiento. En el primer caso, en función del número de fracturas existentes, se valorará el ingreso del paciente o no. Con tres o más se le ingresará, con dos o menos se realizará un TAC (Tomografía Axial Computarizada). Por otro lado, en el caso del traumatismo costal será necesario realizar un electrocardiograma para comprobar si existen fracturas en el esternón, cuyo resultado determinará si el paciente debe quedar ingresado o no [53].

2.4.3. Traumatismo abdominal

El primer paso es clasificar el tipo de traumatismo en cerrado o abierto. Posteriormente, se realiza el protocolo 'ABCDE' y una analítica de sangre. Es importante recalcar que la evaluación del paciente debe ser ordenada, ya que existen lesiones torácicas que pueden ser letales. Por otro lado, la prueba más usada en su diagnóstico es una tomografía axial computarizada (TAC) y, en función de los resultados y la evaluación del paciente llevada a cabo, encontraremos 2 tipos de trauma: abierto, que se produce en un 10 %-15 % de las ocasiones y cerrado que se produce en un 85 %-90 % de las ocasiones. Dentro de cada uno de ellos existen dos clases:

- **Trauma cerrado hemodinámicamente estable:** se realizará una inspección detallada del abdomen y en función del riesgo de la lesión, el paciente permanecerá más o menos tiempo en observación [54]. En función del riesgo se clasifican en lesiones de riesgo bajo, moderado y alto.

- **Trauma cerrado hemodinámicamente inestable:** el tratamiento dependerá de la existencia o ausencia de una hemorragia intraperitoneal. Como primer paso de la evaluación se realiza un examen FAST. Un examen FAST es una ecografía abdominal

que se utiliza para el diagnóstico de la presencia o ausencia de líquido en el abdomen [55]. Si el resultado de esta prueba es positivo el paciente será trasladado de forma inmediata al quirófano, si el resultado del examen no es concluyente será el cirujano el que juzgue si hacer una laparotomía urgente o no [54].

- **Trauma abierto hemodinámicamente estable:** se realizará un primer examen de clasificación del tipo de herida, si es penetrante el resultado del TAC determinará si es necesaria una intervención quirúrgica de urgencia. En caso de no ser penetrante, el paciente permanecerá en observación [56].
- **Trauma abierto hemodinámicamente inestable:** los pacientes que presenten este tipo de traumas serán trasladados con la mayor rapidez posible para la realización de una intervención quirúrgica de urgencia [56].

2.4.4. Traumatismo pélvico

Como primer paso se debe realizar el protocolo 'ABCDE', una vez estabilizado el paciente, se llevará a cabo el eco-Fast. Un eco-Fast es una ecografía de urgencia para descartar la existencia de sangre en la zona pélvica [57]. Según el resultado de esta prueba se llevará a cabo un proceso de actuación u otro. Para el caso de los pacientes hemodinámicamentes inestables y que presenten una eco-Fast positivo se les estabilizará la pelvis y se les realizará una laparotomía de urgencia. Sin embargo, aquellos que presenten un eco-Fast negativo y sean hemodinámicamentes inestables se les evaluará con un aspirador peritoneal diagnóstico. Por otro lado, aquellos pacientes que dieran positivo se les realizaría una laparatomía emergente, se les estabilizaría la pelvis y se les realizaría un embalaje preperitoneal. Por último, aquellos que dieran un resultado negativo se les realizaría un embalaje preperitoneal y una estabilización de pelvis. También hay que tener en cuenta que los pacientes que sean hemodinámicamentes estables y se sospeche grandes fracturas, se les realizará una tomografía computarizada multicore [58].

2.4.5. Traumatismo en extremidades

Siguiendo el protocolo de actuación de los anteriores traumatismos se comienza el tratamiento realizando el proceso de evaluación 'ABCDE'. Posteriormente, en función de si son hemodinámicamente estables o no, se realizará un protocolo u otro:

- **Hemodinámicamente estable:** si se estima conveniente se realizará una prueba radiológica. En función del resultado de esta se realizará un tipo tratamiento, algunos de estos son: la aplicación de hielo, la inmovilización del miembro, la compresión y elevación de la parte afectada, la administración de analgésicos y la valoración de una intervención quirúrgica [26].
- **Hemodinámicamente inestable:** se buscará la estabilización del paciente mediante el proceso de reanimación si fuese necesario. Asimismo, se parará la hemorragia mediante el uso de un torniquete. Dentro de esta clase de traumatismos, cabe resaltar lesiones mortales como la lesión neurovascular o el síndrome de aplastamiento [26].

Capítulo 3

Simulador Web Interactivo

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es la mejora de un simulador web existente. En este capítulo se va a exponer el funcionamiento general del simulador y las tecnologías usadas para su implementación.

3.1. Descripción general del simulador clínico

El objetivo principal del simulador es el entrenamiento y la formación del personal clínico en los protocolos de actuación que se llevan a cabo en el tratamiento de pacientes que sufren traumatismos graves. Este proyecto se inició en 2020, estableciéndose las bases de lo que es ahora. En 2021 se continuó con su desarrollo y mejora. Se introdujeron nuevos escenarios clínicos y se implementaron nuevas acciones. Actualmente, en este año 2022 el proyecto se ha mejorado como se explica en el Capítulo 5, especialmente con la incorporación del proceso de evaluación de las simulaciones.

3.1.1. Funcionamiento

El simulador permite el acceso mediante una interfaz de registro, donde el usuario puede introducir sus datos y crear una nueva cuenta. Existen dos tipos de usuario, por un lado, el instructor que se encargará de la creación de nuevas simulaciones. Y por otro, el estudiante que accederá al simulador y elegirá qué tipo de simulación prefiere hacer. Tendrá la opción de realizar casos clínicos tipo examen o casos clínicos categorizados como entrenamiento.

En ambas opciones aparece una lista de simulación categorizada según el escenario a tratar: prehospitalorio u hospitalario, en función de la parte del cuerpo que ha sufrido el traumatismo. En la actualidad, hay implementados 2 escenarios prehospitalarios uno para miembro inferior y otro pélvico, y 2 escenarios hospitalarios para las mismas partes del cuerpo. Estos escenarios están creados con el objetivo de formar tanto a médicos como a personal del servicio de urgencias.

Durante toda la simulación, los profesionales médicos deberán elegir cuáles deben ser las técnicas de actuación en cada caso que permiten tratar al paciente de la mejor manera posible. Todos los casos clínicos han sido diseñados junto con personal clínico, determinando cómo debían de ser las constantes vitales iniciales y como debía ser su evolución en función de las acciones que se lleven a cabo. En el anexo B se detalla en profundidad el funcionamiento de la interfaz.

3.1.2. Interfaz Principal

La página principal de la simulación es dónde se lleva a cabo la simulación de los casos clínicos y tiene una duración de 30 minutos. Esta interfaz está formada por tres componentes importantes:

- Un **maniquí** que representa al paciente virtual. Las acciones que se realizan durante la simulación se representan en este maniquí de manera que, por ejemplo, tras colocar un collarín cervical el maniquí cambia de aspecto y el collarín cervical aparece colocado en el maniquí tal y como se puede ver 3.1.

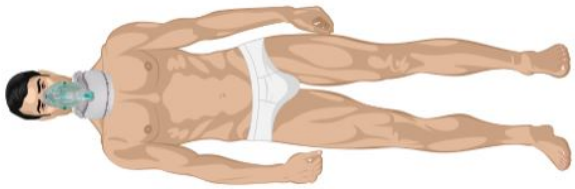


Figura 3.1: Maniquí con collarín cervical y mascarilla de oxígeno

- **Panel de Constantes Vitales:** otro de los componentes principales de esta interfaz es el panel de constantes vitales que se muestra en la Figura 3.2. Este panel emula los monitores de constantes vitales que se pueden encontrar en cualquier hospital.

Figura 3.2: Monitor de constantes vitales

El panel de constantes vitales consta de tres gráficas, la primera representa la frecuencia cardiaca, la segunda la frecuencia respiratoria y la última la saturación de oxígeno del paciente en sangre. Estas gráficas muestran las constantes en tiempo real y reflejan la respuesta fisiológica del paciente cuando es tratado. En la parte derecha del panel se muestran los valores enteros de estas constantes vitales, así como los valores de la presión

sistólica y diástolica que da una información completa del estado del paciente.

- **Conjunto de acciones:** durante la simulación el estudiante tiene que seleccionar las acciones que considere oportunas para mejorar el estado inicial del paciente virtual. En la simulación se han incorporado acciones que modifica las constantes vitales y acciones que no, y estas se clasifican por tipos: anamenesis, vía aérea y ventilación, circulación/hemorragias externas, exposición/otros, fármacos y fluidoterapia, inmovilización y también existe la posibilidad de pruebas complementarias. Dependiendo de la categoría seleccionada, aparecerán en la parte inferior, múltiples acciones que se pueden llevar a cabo. Esto se puede observar en la Figura 3.4. Cada una de esas acciones van a tener una repercusión u otra en las constantes vitales del paciente. Las acciones disponibles van a depender en parte del escenario en el que nos encontremos. Por ejemplo, en el caso del escenario prehospitario, existe una categoría menos de acciones, la de pruebas complementarias, ya que en ese escenario no se cuenta con medios suficientes para realizarlas, un ejemplo de estas son las pruebas de rayos X. En la Figura 3.3 se muestra un caso de trauma pélvico prehospitalario donde aparecen solo 6 bloques de acciones en vez de las 7 que aparecían en el caso hospitalario mostrado en la Figura 3.4.

Figura 3.3: Batería de acciones de la categoría de vía aérea y ventilación para un escenario prehospitalario

Figura 3.4: Batería de acciones de la categoría de pruebas complementarias para un escenario hospitalario

Las distintas acciones van a permitir tratar al paciente y van a influir de una manera u otra dependiendo del escenario clínico, todo ello, con el objetivo de estabilizar al paciente.

Finalmente, se presenta la interfaz de la simulación 3.5. En ella, quedan integrados los tres componentes explicados anteriormente. Como se puede observar, también cuenta con

elementos como un cronómetro, que sirve para ver el tiempo que le queda al usuario para estabilizar al paciente. Adicionalmente, permite adelantar el tiempo en caso de que se quiera ver la evolución del paciente un tiempo después del tratamiento.

Otro elemento visible se encuentra en la parte superior izquierda, hay un botón historial en el que se recogen todas las acciones que se han ido pulsando. Y justo por encima de ese botón, hay otro que, al desplegarlo, enseña la opción de mostrar el resultado de las pruebas complementarias. Estas son radiografías reales de las distintas partes del cuerpo en función del tipo de lesión a tratar.

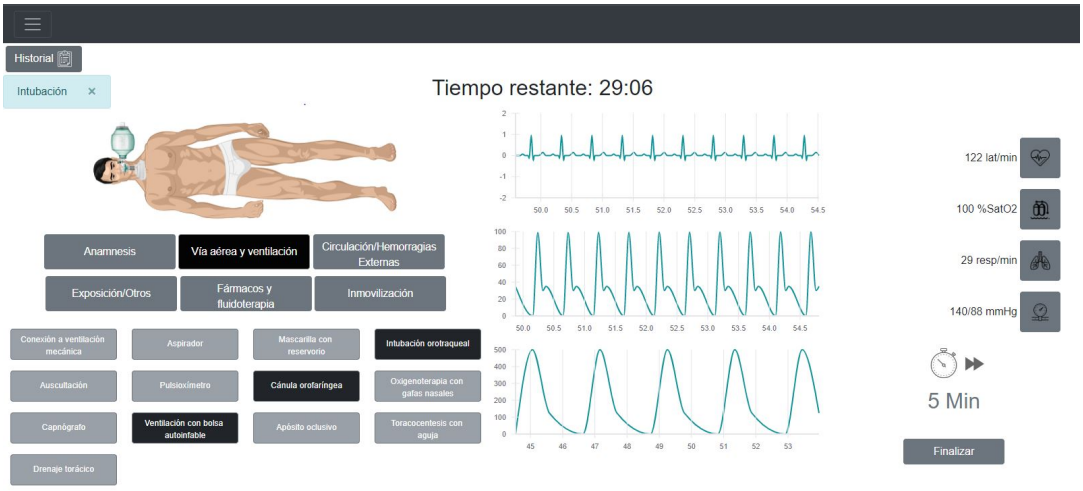


Figura 3.5: Interfaz principal del simulador en un entorno prehospitalario

3.2. Arquitectura utilizada

La lógica de la aplicación web sigue el patrón MVC (Modelo - Vista -Controlador), con lo que se consigue separar en capas las distintas responsabilidades, haciendo que cada capa se encargue de realizar una tarea muy concreta. Esta separación del código en capas diferentes ha ganado mucha fuerza gracias a la aparición de numerosos frameworks que utilizan este modelo para la arquitectura de las aplicaciones web [59], un framework es una marco de trabajo que se utiliza como punto de partida para el desarrollo de software [60]. Este proceso se puede observar en la Figura 3.6, ahora se procede a contar con mayor detalle cada una de las capas:

- **Modelo:** esta capa se encarga de administrar y almacenar los datos provenientes de las bases de datos [61].

- **Controlador:** es la capa que sirve de enlace entre la vista y los modelos. En él se encuentra la lógica necesaria para responder a las peticiones realizas por el usuario en la capa visual de la aplicación. [59].

- **Vista:** la vista manipula con los datos provenientes del modelo y decide que ve el usuario en su pantalla y cómo lo ve [59].

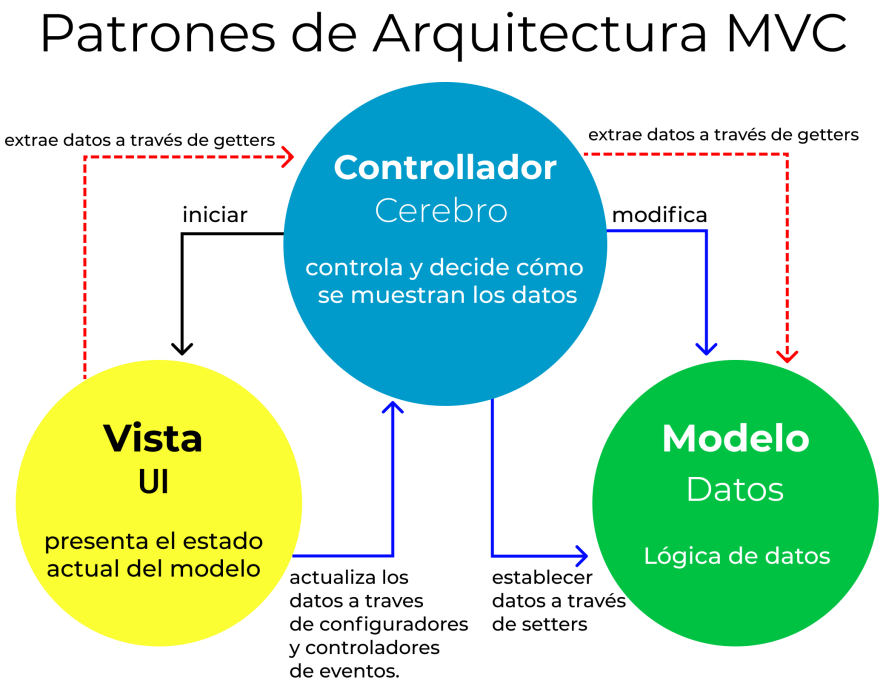


Figura 3.6: Modelo-Vista-Controlador [59].

En la Figura 3.6 se detalla el funcionamiento de este patrón de tres capas. Primero el cliente hace una petición al servidor, el controlador se encarga de manejarla. Dicha petición puede ir desde obtener un dato hasta su modificación, creación o borrado. Una vez manejada la petición se obtiene la respuesta de manera gráfica y se representa en la vista. Las tecnologías utilizadas para el desarrollo de las tres capas ha sido Mysql para la capa de Modelo, Javascript para el Controlador y para la Vista React.

3.2.1. Modelo

Para el correcto funcionamiento del simulador ha sido necesario guardar los datos generados y utilizados por la aplicación. Por eso, en las primeras versiones del simulador se creó una base de datos relacional de la que se hablará con mayor detalle en el Capítulo 4 y se decidió que la tecnología que mejor gestionaría la base de datos sería MySQL, debido a su alta velocidad a la hora de acceder a los datos. A continuación se comentan las principales tecnologías que han permitido el desarrollo de la capa de modelo:

- **MySQL:** es un gestor de base de datos relacionales, es decir, gestiona múltiples tablas que presentan una interconexión entre sí. Su funcionamiento se basa en un modelo cliente-servidor. En el cada cliente realiza una consulta, por medio del lenguaje SQL, y el servidor devuelve la información. Cabe destacar que MySQL es una tecnología de código abierto, y, por lo tanto, es accesible y gratuito para cualquier usuario. Esta característica permite que este gestor este en constante desarrollo y ofrezca nuevas mejoras continuamente [62].

- **SQL:** es un lenguaje de programación que se encarga de la comunicación entre el cliente y el servidor y por tanto, del manejo de la información de las bases de datos relacionales

[63]. La mayoría de los sistemas de gestión de bases de datos relacionales utilizan este lenguaje para el tratamiento de sus datos. Para realizar los procesos de obtención, actualización y creación de datos, entre otros, SQL presenta una serie de comandos para realizar esos procesos, alguno de ellos son [64]:

- **SELECT:** permite acceder a los registros almacenados en una tabla de la base de datos.
- **INSERT:** almacena información en la correspondiente tabla de la base de datos de manera persistente.
- **UPDATE:** permite actualizar información que ha sido almacenada anteriormente en la base de datos.
- **DELETE:** permite borrar datos ya existentes.

- **Sequelize:** es un ORM (Object-Relational mapping) que permite convertir las tablas de una base de datos en entidades, y de esta manera, la aplicación pueda utilizar la información almacenada en las tablas. Sequelize es un ORM de Node.js, tecnología que se explicará en el siguiente apartado, que permite manipular varias bases de datos SQL de una manera sencilla [65].

3.2.2. Controlador

- **Node.js:** es un entorno que se ejecuta en el servidor de manera asíncrona. Su idea principal es la de un modelo de entrada y salida sin bloqueo. Es decir, las peticiones del cliente se van ejecutando de manera independiente al resto de peticiones. Adicionalmente, cuenta con un gestor de paquetes NPM (Node Package Manager) que permite instalar y administrar versiones de paquetes y librerías js [66].

- **Express:** es el framework más popular de Node.js, genera automáticamente un esqueleto a la aplicación. Se encarga de funcionalidades como el enrutamiento, que permite el tráfico de la información entre vistas. Adicionalmente, se encarga de la implementación de la arquitectura MVC. La función principal de Express es la de enviar información proveniente del Modelo a su vista correspondiente, mediante la creación de APIs [67]. Una API son un conjunto de protocolos que se encargan de integrar y desarrollar el software de las aplicaciones, permitiendo la comunicación entre dos aplicaciones a través de un conjunto de reglas definidas [68].

Estas dos capas descritas se pueden incluir en el *backend* que es la parte del desarrollo web en el que se encuentra toda la lógica de la aplicación.

3.2.3. Vista

El *frontend*, conforma esta capa y representa la parte visual del simulador. Es la encargada de dar el diseño, estructura y forma a la aplicación.

- **Javascript:** es un lenguaje interpretado sin necesidad de compilación, el navegador no necesita de la ayuda de terceros para interpretar el código. Javascript es capaz de detectar errores de formulario y crear diseños bonitos para cualquier tipo de pantalla. Es el complemento ideal a HTML y CSS. A pesar de que se menciona como tecnología utilizada en el desarrollo de la vista, es importe recalcar que Javascript también se utiliza en el desarrollo del *backend*, en la capa de los controllers [69].

- **HTML:** (HyperText Markup Language) es el componente más básico de la Web, define la estructura y apariencia de la misma. Mediante el uso de marcas, etiquetas de texto, imágenes y otros contenidos mostrados en los navegadores Web [70].

- **CSS:** lenguaje encargado del diseño y presentación de la página web. Crea reglas que indican al sitio web cómo quiere mostrar la información. Se encarga de dar el estilo a las marcas de hipertexto de HTML [71].

- **React:** es una librería Javascript que se centra en las interfaces de usuario. Se utiliza para el desarrollo de páginas web de manera ordenada y más sencilla que si se utilizara únicamente Javascript. El uso de esta tecnología nos permite separar el lado del servidor y el lado del cliente, pudiendo visualizar la interfaz sin necesidad de tener un servidor activo. Una de las ventajas del uso de React es que permite desarrollar aplicaciones sin necesidad de cargar la página de nuevo. Este fenómeno se consigue gracias al uso del VirtualDOM. El DOM, es la vista de la interfaz gráfica. VirtualDOM compara el DOM del navegador y el DOM virtual para ver que partes son las que deben actualizarse sin necesidad de actualizar la vista entera. Otra de sus ventajas es la capacidad que tiene React para dividir la página en componentes y de esta manera conseguir trabajar sobre ellos de forma más sencilla [72].

3.2.4. Otras tecnologías:

Otra tecnología que resultó útil en el desarrollo de este proyecto fue **Python**. **Python** es un lenguaje de programación multinivel, que permite la programación orientada a objetos. Muy útil para la creación de aplicaciones nativas e híbridas. Es un lenguaje interpretado muy sencillo de escribir. Es un lenguaje multiplataforma que permite el desarrollo en diversos sistemas operativos. Sus principales campos de aplicación son: Big Data, Data Science, Inteligencia Artificial (IA) y Blockchain.

Capítulo 4

Módulo evaluación

Como ya se ha comentado en el Capítulo 1, en la actualidad existen muy pocos simuladores que presenten una evaluación automatizada, a pesar de los beneficios que esta conlleva. Uno de estos beneficios, es que el alumno pueda observar cuál ha sido el impacto de sus acciones durante todo el proceso de la simulación. Por todo ello, se decidió, en el presente trabajo, integrar en el simulador ya desarrollado, una interfaz de evaluación automatizada.

Para realizar el proceso de evaluación, cada acción del simulador tiene asignado un número identificativo, tal y como podemos observar en el Apéndice D.2, lo que nos va a permitir tener secuencias de números que representan, a su vez, las secuencias de acciones que se han realizado. Por ejemplo, si el alumno coloca una mascarilla de oxígeno, limpia las vías aéreas y realiza una intubación, la secuencia de acciones creada sería [7,19,25] D.2. Por lo tanto, conociendo el manejo que se debería llevar a cabo de un paciente de trauma, que nos ha sido proporcionado por expertos basándose en el ATLS, podemos medir, comparando secuencias, cómo de bien o no se ha hecho una simulación. Por un lado, se encuentra la secuencia ideal que representa la secuencia de acciones que se deberían llevar a cabo para estabilizar al paciente y, por otro lado, la secuencia de acciones que ha llevado a cabo el usuario. Para evaluar el manejo del trauma es importante tener en cuenta las acciones realizadas en los primeros minutos. Estas acciones son importantes debido a que existe un gran número de muertes que ocurren en la primera hora tras la lesión, por lo que una atención rápida y sistemática es clave.

Adicionalmente, para cualquier tipo de escenario traumático existen una serie de acciones mínimas que el usuario debe realizar siempre para dar los tratamientos necesarios para la estabilización del paciente. Por lo tanto, dependiendo del escenario, una vez evaluado cómo se hacen los primeros minutos y si se hacen las acciones mínimas necesarias, queda evaluar cómo se ha hecho la secuencia global de actuación teniendo en cuenta el orden, cuándo se han hecho las acciones, si las acciones que se hacen tienen el impacto esperado, etc. Con todos estos datos, se elaborará una evaluación de como ha realizado el alumno la simulación y se le devolverá una calificación final.

4.1. Acciones obligatorias

En esta sección procederemos a presentar las acciones obligatorias que se deberán realizar para el correcto tratamiento de la lesión traumática grave:

- **Acciones a realizar en los 4 primeros minutos:** a la hora de tratar un paciente con una lesión traumática grave es necesario tratarlo con la mayor rapidez posible [73]. Esto es debido al importante número de muertes que se producen en los primeros minutos tras la lesión. Estas acciones están recogidas en la Tabla 4.1 y se han implementado siguiendo la pautas establecidas en el ATLS.

Acciones a realizar en los primeros 4 minutos
Vía aérea y ventilación
• Auscultación • Pulsioxímetro
Circulación
• Canalización VVP • PANI digital • Monitorización 4 parches.

Tabla 4.1: Acciones en los 4 primeros minutos

- **Acciones mínimas**: existen una serie de acciones mínimas que deben realizarse en cualquier escenario que presente una lesión traumática grave. Estas son fundamentales para conseguir que el paciente sobreviva y quedan recogidas en la Tabla 4.2. Es decir, estas acciones son obligatorias en todos los escenarios clínicos. Excepto las pertenecientes a la categoría de acciones de inmovilización. El cinturón pélvico solo es obligatorio en los casos clínicos prehospitalarios con una lesión traumática pélvica. Lo mismo ocurre en el caso de la categoría de pruebas complementarias, las acciones de esta sección solo son obligatorias en los escenarios hospitalarios.

.

Acciones mínimas
Vía aérea y ventilación
• Auscultación • Pulsioxímetro
Circulación
• Canalización VVP • PANI digital • Monitorización 4 parches.
Exposición
•Retirada de ropa
Inmovilización
•Cinturón pélvico •Collarín cervical
Fármacos y fluidoterapia
•Ácido tranexámico 1g IV •SSF 20ml/Kg en 10 minutos •SSF 500ml mantenimiento
Pruebas complementarias
•RX pelvis hospitalaria

Tabla 4.2: Acciones mínimas

- **Secuencias de acciones completas**: para un correcto tratamiento, es necesario realizar una serie de acciones que permitan la estabilización del paciente, solo la realización de acciones mínimas no es suficiente. Y cada escenario, presentará una secuencia de acciones ideales. Por ejemplo, no presenta el mismo tratamiento un escenario prehospitalario pélvico que uno prehospitalario de miembro inferior, habrá acciones que coincidirán y otras que serán totalmente distintas.

4.2. Algoritmos usados

El proceso de evaluación se realizará teniendo en cuenta una secuencia ideal de actuación. Es decir, todos los escenarios incluidos en el simulador web desarrollado presentan una cadena de acciones ideales, que si el usuario las realizara en el tiempo y orden adecuado, el paciente recibiría un tratamiento correcto. En este proceso de evaluación se tendrá en cuenta:

- El orden en el que se han hecho las acciones.
- Si se han hecho todas las acciones debidas en el momento correspondiente.
- Si se han ido haciendo siguiendo la secuencia ideal.
- Si se han hecho acciones de más o si faltan alguna acción correcta necesaria.

Todos estos parámetros se deben estudiar por separado y ver la influencia que tienen en la respuesta del paciente. Un aspecto importante a tener en cuenta en el manejo de una lesión traumática grave es que a veces es mejor no realizar ninguna acción que realizar acciones de más, ya que estas pueden perjudicar más que beneficiar al paciente. Para realizar dicho estudio se han usado los siguientes algoritmos:

- Por un lado, el ***algoritmo Needleman-Wunsch modificado***. Este algoritmo proporciona información acerca del balance de acciones que se hacen y que tienen un impacto

positivo en las constantes vitales y las que se hacen, pero no tienen ese impacto positivo. Para ello, se tienen en cuenta las acciones que se realizan, cuándo y en qué orden, y así ver si el impacto es el esperado para estabilizar al paciente. Los parámetros obtenidos gracias a este algoritmo son:

- **Número de acciones correctas realizadas:** matches en inglés, son el número de acciones realizadas por el usuario iguales a la secuencia ideal.
- **Número de acciones intercambiables realizadas:** swap en inglés, son el número de acciones diferentes pero con impacto en las constantes vitales similar. Estas fueron establecidas según el criterio de un grupo de expertos, en el que se determinó que existen algunas acciones que presentan el mismo impacto que otras. Por ejemplo, a la hora de oxigenar un paciente va a tener el mismo impacto hacerlo con una gafas nasales que hacerlo con una bolsa auto inflable.
- **Número de acciones contrarias realizadas:** contrary en inglés, son el número de acciones diferentes con impacto en las constantes vitales contrario al esperado. Un ejemplo de este tipo son el Midazolam y la Noradrenalina, la primera sube la tensión arterial y la segunda la baja.
- **Número de veces que no has actuado:** en inglés bajo el nombre de gap, son el número de acciones que deberías haber hecho, y en su lugar, no se ha realizado ninguna.
- **Número de acciones incorrectas realizadas:** en inglés mismatches, son el número de acciones diferentes a la secuencia ideal y que no entran en ninguna de las categorías especificadas anteriormente.

En la Figura 4.1 se muestran dos cadenas de acciones. La primera representa la secuencia ideal que debería llevarse a cabo y la segunda, la secuencia de acciones realizadas por el usuario.

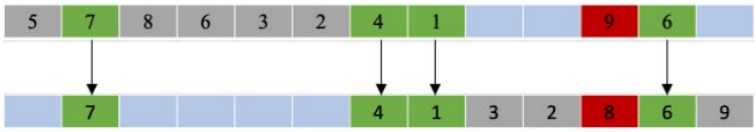


Figura 4.1: Cadenas de acciones. La primera secuencia representa la cadena de acciones ideales a realizar y la segunda, las acciones realizadas por el usuario [74]

En verde, se destacan las acciones correctas realizadas durante la simulación, en azul las acciones que corresponden con huecos y en rojo las acciones incorrectas. Por tanto, cada una de estas acciones tendrá un impacto distinto en el tratamiento del paciente. Clasificándolas en función del impacto que tienen en las diferentes constantes vitales, obtenemos que las acciones correctas son las que mejor impactarán en las constantes vitales, seguidas de las acciones intercambiables. Después de estas dos acciones, les sigue el número de acciones que no has realizado, es decir, en el tratamiento de la enfermedad traumática grave muchas veces es mejor no realizar ninguna acción que realizar acciones incorrectas.

Dentro de las acciones que causan un peor impacto tenemos las acciones incorrectas y las acciones contrarias. Estas últimas son las que generan el peor escenario posible en el

tratamiento del trauma, puesto que son acciones cuyo impacto en las constantes vitales es totalmente contrario al esperado.

Cada una de estas acciones recibirá una puntuación en función del impacto que tenga en el tratamiento del paciente. Cada puntuación se obtendrá siguiendo el ***algoritmo Needleman-Wunsch modificadoo*** [74]. Finalmente, en función del número de acciones de cada tipo realizadas y de la puntuación recibida, se calcula el **Balance entre acciones correctas e incorrectas** o **alineamianto global (GA)**, siguiendo la siguiente fórmula:

$$GA = n_{matches}S_{matches} + n_{swap}S_{swap} + n_{mismatches}s_{mismatches} + n_{gap}S_{gap} + n_{contrary}S_{contrary}$$

Siendo n el número de acciones de cada tipo y S la puntuación de cada tipo de acción. Dicho valor calculado varía entre -1 y 1. Como estos valores se van a mostrar al usuario decidimos pasarlos a porcentajes, y como resultado obtenemos que GA varía de 0 a 100 %. Un valor por debajo del 50 % muestra que la secuencia del usuario y la ideal son muy distintas, por lo que se hacen más acciones que tienen un impacto diferente al esperado en las constantes vitales. Por el contrario, los valores por encima del 50 % muestran el nivel de semejanza existente entre ambas secuencias, por lo tanto, se hacen más acciones que tienen el impacto esperado para la estabilización del paciente.

- Otra métrica a tener en cuenta son las ***acciones realizadas en el momento oportuno***. Esta métrica se denomina diagonales y su puntuación se ha calculado con el fin de proporcionar información sobre las acciones que se realizan justo en el momento en que tienen que realizarse [74]. Para poder introducirla en el simulador web, simplemente necesitaremos de nuevo recoger la secuencia de acciones llevadas a cabo por el usuario y compararla con la ideal. Se construye una matriz de puntuaciones y se obtiene la métrica según [74]. El valor de esta métrica tiene su valor máximo presenta una puntuación del 100 % y se da cuando las acciones se han hecho en el momento exacto en el que tocaba hacerlas. Su valor mínimo es el de 0 % y se da cuando ninguna de las acciones se ha hecho cuando tocaba.

- Adicionalmente, es imporante ver cuántas ***acciones se realizan de forma secuencial***. A esta métrica se le llama como métrica de subsecuencias. Su objetivo es el de identificar las subsecuencias correctas de acciones realizadas por parte del usuario. Esta métrica identifica el número de acciones que se realizan en orden identificando secuencias de acciones correctas. Un valor máximo de 100 % en esta métrica se consigue cuando ambas secuencias son iguales, la ideal y la realizada por el usuario. El valor de 0 % se obtiene cuando la secuencia del usuario es totalmente distinta a la ideal. La Figura 4.2 muestra un ejemplo de acciones realizadas de manera secuencial.

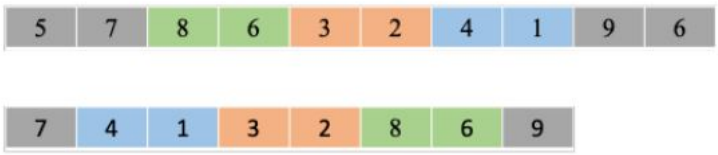


Figura 4.2: Secuencia ideal a realizar y secuencia realizada por el usuario resaltando las subsecuencias que se repiten. En este caso aparecen tres subsecuencias realizadas de forma adecuada y resaltadas en verde, naranja y azul [74].

La Figura 4.2 muestra dos cadenas de acciones, una representa la secuencia ideal que se debería haber llevado a cabo y la segunda representa la cadena de acciones realizada por el usuario. La secuencia de acciones que coinciden con la ideal están coloreadas con los colores azul, verde y naranja respectivamente. Es decir, se va a puntuar de manera positiva que el alumno, siguiendo el ejemplo, haya realizado la acción 2 después de la 3 o la 8 antes que la 6. Teniendo en cuenta estas secuencias que coinciden, se construye la métrica de subsecuencias [74].

- Por último, la ***matriz de confusión*** nos permite ver los tipos de aciertos y errores que se producen en el modelo y así determinar cómo de bueno es el sistema implementado [75]. En la Figura 4.3 se muestra la estructura de una matriz de conversión [75].

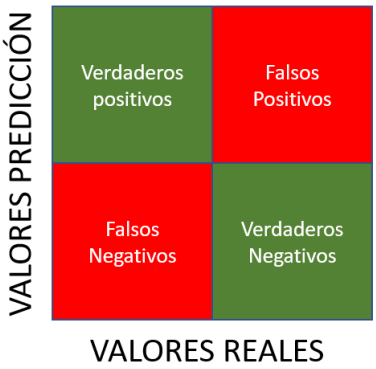


Figura 4.3: Matriz de confusión [75]

De la matriz de confusión se obtienen 4 valores:

- **Verdadero positivo (VP):** sucede cuando el valor real es positivo y el modelo predice que es positivo.
- **Verdadero negativo (VN):** el valor real es negativo y la prueba médica predice que es negativo.
- **Falso negativo (FN):** el valor real es positivo, pero el modelo predice que el valor es negativo.
- **Falso positivo (FP):** el valor real es negativo, pero el modelo predice que es positivo.

Con ellos, se calculan los siguientes parámetros:

- **Sensibilidad:** este valor es el porcentaje de acciones que debían realizarse y se realizaron. Y se calcula mediante la fórmula:

$$Sensibilidad = \frac{VP}{VP+FN}$$

- **Exactitud:** este valor es el porcentaje de acciones que deberían realizarse y se realizaron y que no debían realizarse y no se realizaron.

$$Exactitud = \frac{VP+VN}{VP+FP+FN+VN}$$

- **Precisión:** es el porcentaje de acciones que deberían realizarse con respecto a todas las acciones que se han llevado a cabo.

$$Precision = \frac{VP}{VP+FP}$$

- **Especificidad:** es el porcentaje de acciones que no deberían realizarse y no se realizaron.

$$Especificidad = \frac{VN}{VN+FP}$$

- **Puntuación F1:** es la media armónica entre Precisión y Sensibilidad.

$$F1 = Precision \cdot \frac{2Sensibilidad}{Precision+Sensibilidad}$$

Una vez presentadas las métricas que nos ayudan a medir en detalle cómo se ha hecho una simulación, se presenta la expresión que nos permite proporcionar una calificación final. Esta expresión no tiene en cuenta todas las métricas presentadas sino aquellas que muestran información independiente, puesto que algunas de ellas están correlacionadas.

Nota final=(0.2189·F1 +0.2132·Subsecuencias +0.2017·GA +0.1903·Diagonales +0.176·Precisión)

El peso que tiene cada una de las métricas ha sido determinado por expertos basándose en el ATLS y en su propia experiencia. En ese proceso se determinó que F1 es el parámetro que mayor consideración debe tener a la hora evaluar una simulación de trauma seguido de las subsecuencias, el alinamiento global, la métrica de diagonales y la precisión.

Capítulo 5

Desarrollo software y pruebas de funcionamiento

En este Capítulo se va a explicar cómo se ha realizado el desarrollo del software en el simulador y las pruebas que se han llevado a cabo para la validación del correcto funcionamiento de la aplicación.

5.1. Base de datos relacional

Para conseguir desarrollar la funcionalidad esperada en nuestra plataforma es necesario almacenar la información en una base de datos. En un inicio, la base de datos estaba conformada por cinco entidades representadas por las tablas correspondientes. Las tablas están formadas por filas denominadas tuplas y por columnas que representan un campo específico. Cada una de las tablas está identificada por un atributo denominado PK (clave primaria). Asimismo, las tablas están relacionadas entre sí a través de la clave FK (clave externa). El resto de atributos almacenan los datos necesarios para su procesamiento.

Para realizar la tarea correspondiente al sistema de evaluación del simulador, se añadieron dos entidades más a la base de datos. Por un lado, la tabla *Evaluations*, en la que se guardan todas las acciones que el usuario va realizando a lo largo de la simulación. Por otro lado, otra tabla denominada *Results*, donde se guardan todas las métricas implementadas para analizar cómo se ha llevado a cabo la simulación. Estos resultados serán mostrados al alumno una vez finalizada la simulación y quedarán registrados para poder realizar un análisis posterior.

Finalmente, se definen un total de siete entidades que se representan en el modelo de datos de la Figura 5.1.

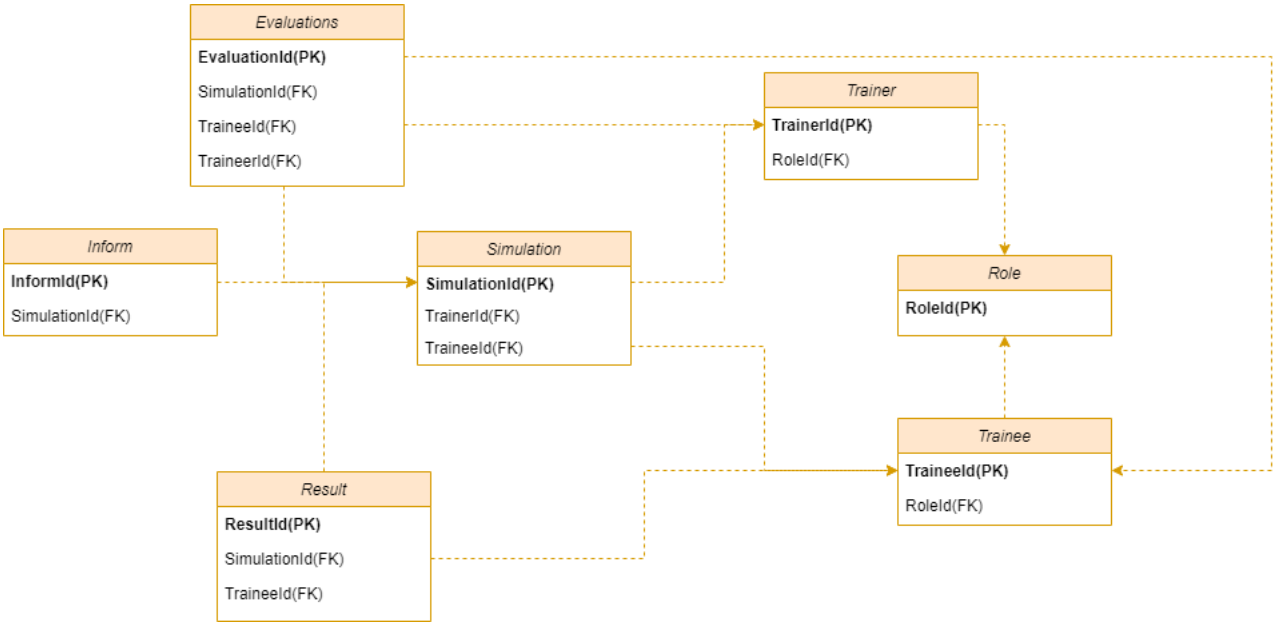


Figura 5.1: Estructura de la Base de Datos simplificada.

Se puede observar que todas las relaciones entre tablas son de dependencia, es decir, si se produce un cambio en una de las tablas independientes, este cambio afecta a la tabla dependiente. Por ejemplo, los valores que se guardan en la tabla *Result* dependen del *Trainee* que realice la simulación, no es lo mismo que un Doctor lleve a cabo la simulación que lo haga un estudiante de medicina. Y es por eso, que dependiendo del identificador del usuario, la información almacenada en la tabla *Result*, será distinta.

La gestión y el manejo de cada una de las tablas se va a conseguir gracias al uso de las operaciones CRUD (Create, Read, Update, Delete), que serán incluidos en los controladores implementados en el *backend*, pudiendo de esta manera realizar cada una de las siguientes acciones [76]:

- **Create:** esta función permite crear nuevos registros en la base de datos.
- **Read:** gracias a este operador se van a poder realizar consultas a la base de datos, ya sea para la obtención de un dato o una colección de registros.
- **Update:** esta función permite tomar un registro y modificarlo.
- **Delete:** con este comando se puede eliminar registros existentes en la base de datos.

5.2. Implementación del método de evaluación

En las siguientes secciones se va a explicar el desarrollo que se ha llevado a cabo para implementar el método de evaluación del simulador.

5.2.1. Tabla Evaluations

Para proceder a la evaluación de las secuencias de actuación llevadas a cabo por los usuarios, es necesario recoger las acciones que se van realizando a lo largo de la simulación. El orden y el tiempo en el que se hacen esas acciones tendrá una repercusión u otra, dependiendo del caso clínico. Por eso, surge la necesidad de crear la tabla *Evaluations* representada en la Figura 5.2

Evaluation
EvaluationId(PK)
TraineeId(FK)
TrainerId(FK)
roleId
phase
actionId
minute
age
heartRate
breathingRate
sistolicPressure
diastollicPressure
saturation
partBody
mentalStatus
age

Figura 5.2: Estructura de la Tabla Evaluation

Durante toda la simulación se recogen, a tiempo real, los identificadores de las acciones que el usuario va realizando en el atributo *actionId*. Todo esto se realiza con el objetivo de que una vez finalizada la simulación, todas las acciones recogidas en la tabla *Evaluations* estén representadas por un identificador que facilite la evaluación de las mismas. Asimismo, es importante identificar el número de simulación y el número de identificación del usuario al que pertenecen dichas acciones.

En los 4 primeros minutos el usuario visualizará una alerta con el número de acciones que le quedan por hacer de cada categoría. En el Capítulo 4 se habla en profundidad de cuáles son estas acciones y porque son tan importantes. En la Figura 5.3 se muestra un ejemplo de este tipo de alerta:

Figura 5.3: Alerta que aparece en los primeros 4 minutos

Todo esto puede ser realizado gracias a que la tabla *Evaluations* tiene registradas y actualizadas las acciones que el usuario lleva a cabo en todo momento. Pasados los primeros 4 minutos, el simulador realiza una llamada a la base de datos para saber que acciones han sido realizadas por el usuario hasta ese momento. En el *frontend* se comprueba si esas acciones son las que se deberían hacer, y si faltará alguna, mostrará el mensaje que se muestra en las Figura 5.3. En caso de realizar todas las acciones no saltará ninguna alerta.

Cuando solo faltan 5 minutos para terminar, el simulador muestra una alerta recordando las acciones mínimas que le quedan por hacer al usuario, como se puede ver en la Figura 5.4. La importancia de estas y sus tipos están explicadas en detalle en el Capítulo 4.

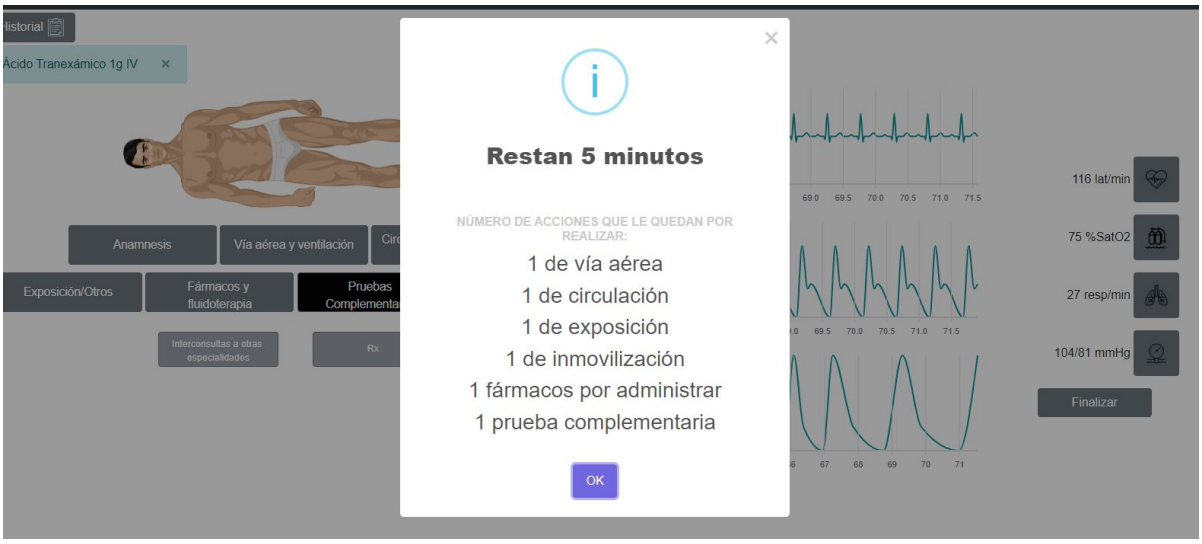


Figura 5.4: Alerta cuando restan 5 minutos

Este proceso se consigue mediante llamadas a la base de datos a los 25 minutos del comienzo de la simulación y siguiendo la misma lógica que las acciones realizadas en los primeros 4 minutos.

Una vez finalizada la simulación, la tabla *Evaluations* queda rellena con una secuencia de números. Cuando el usuario da al botón finalizar, las secuencia de acciones recogida es enviada a uno de los 4 scripts implementados, un por escenario. En cada script se encuentran la secuencia de acciones ideales de cada una de las simulaciones. Estas secuencias se compararán con las del alumno y se obtendrán los parámetros utilizados en el proceso de evaluación. Dichos parámetros se guardarán en una nueva tabla *Results*, tal y como se representa en la Figura 5.5.

Results
ResultId(PK)
TraineeId(FK)
SimulationId(FK)
matches
swap
contr
gasp
mismatches
GA
Diag
Subseq
Precision
Recall
Specificity
Accuracy
Nota

Figura 5.5: Estructura de la Tabla Evaluation

Al finalizar la simulación el usuario será redirigido a la lista de simulaciones donde podrá acceder a la evaluación de la simulación que acaba de realizar. Esta nueva pantalla refleja el resultado de la evaluación mostrando todos los parámetros que se han usado en el cálculo de la nota final, explicados en detalle en el Capítulo 4. Para que el usuario entienda el significado de cada uno de esos parámetros, se ha desarrollado un botón de información al lado de cada uno de ellos, explicando de forma clara su significado. En las Figuras 5.6 y 5.7 se puede observar el resultado de dicha implementación. Adicionalmente, para la Sección 1 y 2 del informe de evaluación que se muestra en la Figura 5.7 se ha programado una ventana emergente que aparece cuando se pulsa en la sección correspondiente para explicar con mayor detalle el significado de la información que se muestra en dichas secciones.

Fase	Sexo	Edad	Tipo de Traumatismo	Parte afectada	Tiempo	Evaluación	Acción
Pre Hospitalaria	**Hombre**	33	Pélvico	Pelvis	30	Evaluar	Volver a Entrar
Pre Hospitalaria	**Hombre**	50	Miembro inferior	Pierna izquierda	30	Evaluar	Volver a Entrar
Hospitalaria	**Hombre**	33	Pélvico	Pelvis	30	Pendiente	Entrar
Pre Hospitalaria	**Hombre**	82	Miembro inferior	Pierna izquierda	30	Pendiente	Entrar
Pre Hospitalaria	**Hombre**	50	Pélvico	Pelvis	30	Pendiente	Entrar
Hospitalaria	**Hombre**	50	Pélvico	Pelvis	30	Pendiente	Entrar
Hospitalaria	**Hombre**	82	Pélvico	Pelvis	30	Pendiente	Entrar

Figura 5.6: Lista de simulaciones con el botón Evaluar

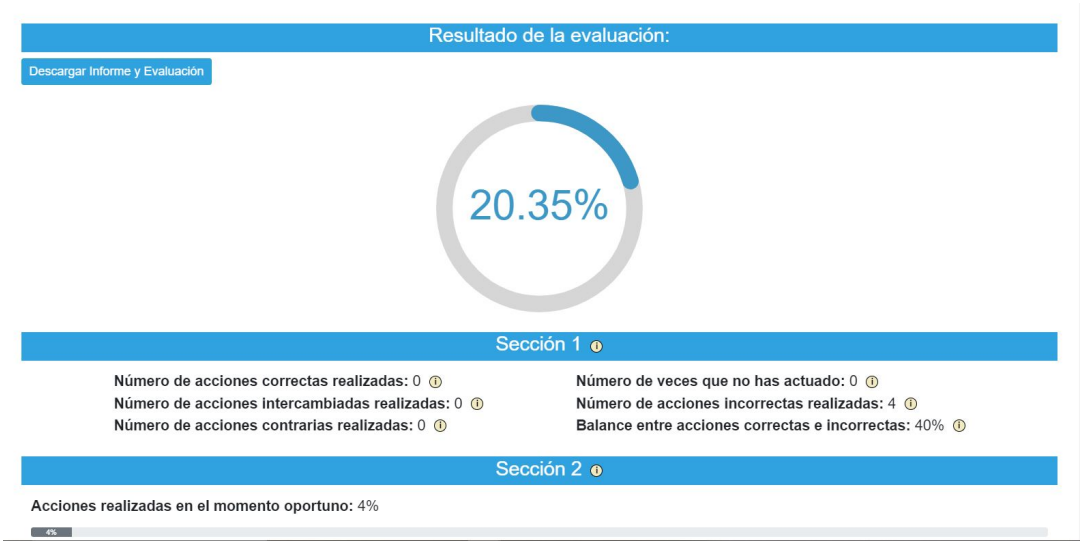


Figura 5.7: Pantalla de evaluación

Puesto que el alumno puede acceder a una simulación las veces que quiera, dentro del módulo de entrenamiento, una vez finalizada puede dar a evaluar obteniendo en cada caso el resultado de la última simulación llevada a cabo. Asimismo, si quiere recoger los datos obtenidos en la Figura 5.7 se muestra en la esquina derecha un botón de descargar informe y evaluación. Si el alumno pincha en él, se le generará un PDF en el que en la primera página quedará recogido un informe con la información personal del alumno, las constantes vitales iniciales del paciente, las acciones realizas y el tiempo en el que se hicieron. En la otra hoja del PDF quedará recogida la calificación final del alumno junto con los parámetros descritos anteriormente, en el Apéndice F.4 se puede ver un ejemplo del documento creado tras la simulación.

5.3. Otras mejoras implementadas

En esta sección se van a presentar todos los cambios realizados sobre el simulador existente para conseguir su optimización.

5.3.1. Registro

Uno de los problemas a los que se tuvo que hacer frente fue el proceso de registro de un usuario. Se detectó que los usuarios podían registrarse con el mismo correo electrónico de manera limitada. Para solventar dicho problema, en las tablas *Trainee* y *Trainer*, el campo donde se recoge el email fue modificado para que fuera único. De esta manera se consiguió que los usuarios solo se pudieran registrar una vez con un mismo correo.

5.3.2. Sesiones activas

Uno de los objetivos del simulador es conseguir que los alumnos puedan ser evaluados a través del simulador. Por lo tanto, es necesario que el simulador sea una aplicación segura, tanto en el proceso de autenticación como a la hora de realizar las simulaciones. Uno de los requisitos es que las simulaciones se realicen de manera individual. Para ello, se ha limitado el número de sesiones activas de forma simultánea. Es decir, un usuario autenticado no podrá acceder nuevamente al simulador a través de una segunda sesión. Tampoco va a ser posible la duplicación de pestañas. Cada vez que el alumno quiera duplicar alguna de las pantallas, el simulador lo redirigirá directamente a la pantalla de inicio de sesión. La sesión quedará liberada siempre que el usuario cierre la pestaña, actualice la página o cierre sesión desde el simulador.

Para llevar a cabo todo este proceso se ha creado un nuevo campo en las tablas de *Trainee* y *Traineer* denominado *session*, que sirve para saber si un usuario tiene una sesión activa. La Figura 5.8 muestra el resultado final de la tabla de *Trainee*. La tabla *Traineer* presentaría la misma forma.

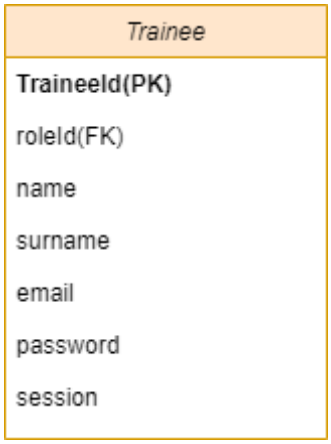


Figura 5.8: Estructura de la Tabla de Trainee.

Este campo se inicializa con el valor de falso. De esta manera, cada vez que un usuario se registre, el valor de *session* en una primera estancia, comienza a falso. Cuando el usuario inicia sesión por primera vez, el valor de este campo pasa a ser verdadero. Impidiendo de esta forma que el usuario vuelva a iniciar sesión con el mismo email en otro dispositivo al mismo tiempo. Cuando el usuario inicia sesión, se hace una llamada a la base de datos para comprobar si la sesión ya está iniciada. Si el campo estuviese marcado como verdadero en la pantalla de inicio de sesión aparecería una alerta como la que se muestra en la Figura 5.9

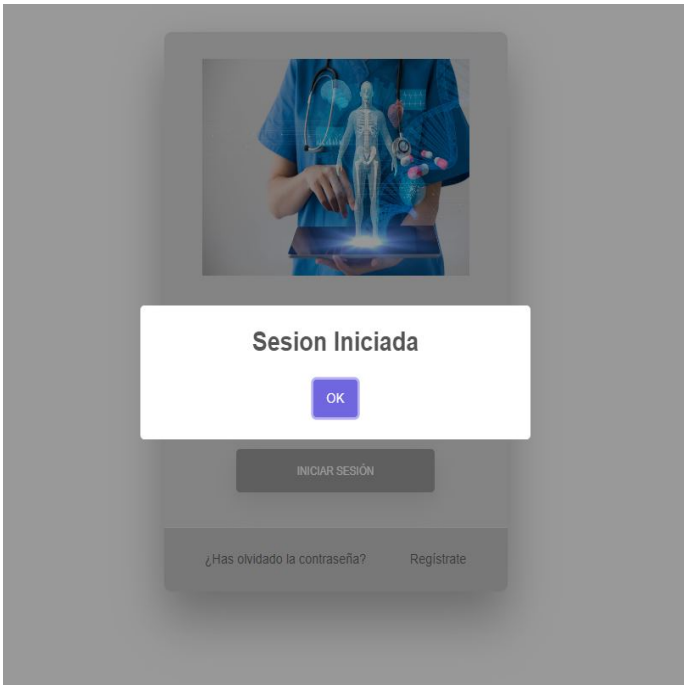


Figura 5.9: Alerta de inicio de sesión.

La sesión quedará liberada cuando el usuario de al botón cierre de sesión, cuando cierre la pestaña o cuando actualice la página. Cuando ocurre alguno de estos eventos, se manda una petición a la base de datos y se actualiza el campo *session* a falso otra vez. De esta manera queda liberada la sesión del usuario, permitiéndole que vuelva a iniciar sesión en otro momento. Para evitar la duplicación de pantallas se ha obligado a que las rutas sean privadas, es decir, no puede existir dos simulaciones iguales al mismo tiempo, ya que el programa perdería seguridad. Este hecho provoca que cada vez que el usuario quiera duplicar alguna de las pestañas, la pestaña duplicada mostrará la pantalla de inicio de sesión.

5.4. Pruebas de funcionamiento

Mediante estas pruebas se realiza el proceso de revisión al que se ha de someter el software creado para comprobar que cumple con todas las especificaciones requeridas [77]. Se buscan los posibles fallos que pudieran comprometer el correcto funcionamiento de la plataforma web. A continuación se describen las pruebas a las que el software implementado ha sido sometido de manera exitosa:

- Comprobar que cuando el usuario se registra en la base de datos solo pueda registrarse una vez con un mismo correo.
- Confirmar que un usuario no puede iniciar más de una sesión de forma simultánea. En la sección F.1 del Apéndice E se comprueba este hecho.
- Confirmar que no es posible la duplicación de pestañas provocando el redireccionamiento a la pantalla de inicio de sesión.
- Comprobar que cuando un usuario cierra su sesión, luego puede volver a entrar sin ningún problema F.1.

- Comprobar que los botones funcionan bien. Como, por ejemplo, cuando se da al botón Finalizar en la pantalla de la simulación, se redirige a la lista de simulaciones o cuando se da al botón Evaluar este muestre la pantalla con la evaluación del alumno.
- Probar que cuando se realiza el proceso de evaluación, este va a ser correcto y de resultado distinto en función de las secuencias de acciones realizadas para una misma simulación. En la sección F.2 del Apéndice E se comprueba que el resultado de la evaluación es distinto para una misma secuencia de acciones. Dicha secuencia ha sido: Auscultación en el minuto 29, Pulsioxímetro en el minuto 28, Canalización VVP minuto 27, Midazolam 2mg IV en el minuto 26.
- Comprobar que la tabla *Results* se rellena con los valores recibidos por los scripts de Python F.3.
- Verificar que el PDF generado tras la simulación posee toda la información. En él quedan recogidas las acciones realizadas, los parámetros de evaluación entre los y la nota final. También se comprueba que los datos que aparecen en el documento coinciden con los llevados a cabo durante la simulación y con los valores que se muestran en la pantalla de evaluación F.4.

Capítulo 6

Conclusiones y líneas futuras

6.1. Conclusiones

En relación con lo expuesto anteriormente, este Trabajo de Fin de Grado cumple con los objetivos marcados en el Capítulo 1. Se ha realizado un proceso de mejora de un simulador web interactivo que ayuda a los profesionales médicos en el entrenamiento de los protocolos de actuación frente a lesiones traumáticas graves.

El primer objetivo fue aumentar el grado de seguridad de la plataforma. Para conseguir ese propósito, se desarrollaron métodos que impedían que un mismo usuario pudiera iniciar sesión desde dos dispositivos distintos al mismo tiempo. Adicionalmente, se detectó que en el registro existía un error que permitía a los usuarios registrarse varias veces con el mismo correo, para evitar ese error se hicieron cambios en la base de datos. Finalmente, se privatizaron todas las rutas del simulador para que si un usuario quisiera duplicar pantalla, la pantalla duplicada sería redireccionada a la pantalla de inicio de sesión.

Continuando con la implementación, se desarrolló una interfaz de evaluación automática que ayudaría al usuario conocer cómo ha llevado a cabo la simulación. De esta manera, se puede entender y estudiar la repercusión de sus acciones en la evolución del simulador. Todos estos datos quedan recogidos en un PDF, donde se muestra, por un lado, un informe con los valores de las constantes vitales tanto al inicio como su evolución durante la simulación, las acciones que se han realizado y, finalmente, en otra hoja se recogen todos los parámetros que han contribuido en el cálculo de la nota final del alumno.

Para finalizar, el simulador cumple con su función principal, que es la de ser una herramienta de entrenamiento en el tratamiento de las lesiones traumáticas graves.

6.2. Líneas futuras

Independientemente, de todos los avances conseguidos durante la implementación de este proyecto, sigue habiendo mejoras qen las que se puede continuar trabajando. Estas líneas futuras ayudarán a continuar con el desarrollo de la plataforma web y convertirla en una herramienta aún más eficiente y realista:

- Diseñar un maniquí físico con el que se pueda interactuar. Y al que se le pueda realizar alguna de las acciones disponible en el simulador, permitiendo al estudiante aprender no solo protocolos de actuación, sino también la posibilidad de llevar a cabo las técnicas médicas a realizar.
- Incluir más pruebas de diagnóstico.
- Incluir más tipos de traumas.
- Conseguir que el simulador sea capaz de funcionar de manera correcta en otros navegadores como Safari. Actualmente, es funcional en Google Chrome y en Mozilla Firefox.
- Incluir un carrusel explicativo a modo de tutorial que ayude al usuario a entender mejor cómo funciona la plataforma.

Bibliografía

[1] Rabanal JM Quesada A Rodríguez JC Teja JL et al Del Moral I, Díaz de Terán JC. *Nuevos procedimientos de entrenamiento en el manejo de crisis y emergencias médicas.* Madrid: Ergón, S.A.; 2003.

[2] *Los simuladores y los modelos experimentales en el desarrollo de habilidades quirúrgicas en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias de la salud.* http://www.veterinaria. org/revistas/redvet/n060612/061204.pdf.

[3] Melro BO Jones F, Passos-Neto C. *Simulation in medical education: brief history and methodology. Principles and practice of clinical research.* 2015.

[4] Dávila-Cervantes. *A. Simulación en educación médica. Inv Ed Med.* 2014.

[5] *Resuci-Anne.* https://elheraldoslp.com.mx/2020/05/26/quien-era-la-desconocida-del-sena-conocida-como-la-mujer´-mas-besada-del-mundo/.

[6] *SimeOne.* https://time.graphics/es/event/2209431.

[7] *Andrea Gerolami Adriana Bordogna, Raffo Escalante. Manual de simulación clínica de la slacip.* https://slacip.org/descargas/ManualdeSimulacionClinica SLACIP.pdf, 2017.Accesoonline]Ultimavez ´ 21/05/2021.

[8] M.P.Bravo. R.Monta˜na F.Utili E.Escudero C.Boza J.Varas J.Dagnino M.Corveto. *Simulación en educación médica:una sinopsis. Revista Médica de Chile.* 2013.

[9] Andrea D´avila Cervantes. *Experiencia en el aprendizaje:la experiencia como fuente de aprendizaje y desarrollo. Journal of Organizational Behavior.* 1984.

[10] Arafeh J Druzin M. Team training/simulation Clark Eas, Fisher J. *Clin Obstet Gynecol.* 2010.

[11] *RCP.* https://tecnoedu.com/Medicina/RCP.php.

[12] *Simulador.* https://salud.asepeyo.es/ profesionales/medicina-del-trabajo/la-simulacion-clinica-una-formacion-sanitaria-innovadora/.

[13] *Simulador de alta fidelidad.* https://www.technologynetworks.com/informatics/blog/patient-simulators-from-cpr-dummies-to-mixed-reality-high-fidelity-robots-352129.

[14] Doyle TJ Wilford A. *La simulación en la enseñanza de la Enfermería.* Metas de la Enfermería, 2009.

[15] Chan T Schijven M Lajoie S Mancini ME et al Choi W, Dyens O. *Engagement and learning in simulation: recommendations of the Simnovate Engaged Learning Domain Group. BMJ Simulation and Technology Enhanced Learning.* 2017.

[16] Derbrew M Hananel D Heydenburg M Issenberg B et al Aggarwal R, Mytton OT. *Training and simulation for patient safety.* Qual Saf Health Care, 2010, Aug.

[17] Quinlan J et al. Harrington C, Kavanagh D. *Development and evaluation of a trauma decision-making simulator in Oculus 409 virtual reality. The American Journal of Surgery.* 2018.

[18] Bishop J. Walker R, Phieffer L. *Four Successive Years of Trauma-Based Objective Structured Clinical Evaluations: What Have 411 We Learned?. J Surg Educ.* 2016.

[19] Boulet J Woodhouse J Fehr J Klingensmith M. Decision Making in Trauma Settings Murray D, Freeman B. *Simulation in 355 Healthcare: The Journal of the Society for Simulation in Healthcare.* 2015.

[20] Bullard M et al. Knudson M, Khaw L. *Trauma Training in Simulation: Translating Skills From SIM Time to Real Time. Journal 389 of Trauma: Injury, Infection Critical Care.* 2008.

[21] Alba Soldevila. Farmacèutica. Traumatismos, https://www.farmaceuticonline.com/es/traumatismos/. *Colegio de Farmacéuticos de Barcelona*, 2019.

[22] M. A. Pérez Martín P. Storch de Gracia Calvo. Atención inicial al paciente traumatizado grave. Form Act Pediatr Aten Prim, 2015.

[23] G. Jiménez Moral y M.C. Chacón Manzano V. Gómez Martínez, F. Ayuso Baptista. Recomendaciones de buena práctica clínica: atención inicial al paciente politraumatizado. SEMERGEN, 2008.

[24] *Atención al paciente politraumatizado.* `https://simulacionymedicina.es/wp-content/uploads/2013/01/POLITRAUMA.pdf`, Junio 2005.

[25] Yolanda Ballestero Díez. *Manejo del paciente politraumatizado. Protoc diagn ter pediatr.* SEUP, servicio de urgencias de pedriatia, 2020.

[26] *Etiología del trauma. Causas principales.* `https://www.medintensiva.org/es-epidemiologia-del-trauma-grave-articulo-S0210569114001806`, Diciembre 2014.

[27] Laura Ruiz. Cuáles son las extremidades del cuerpo humano. 2017.

[28] Azaldegui Berroeta F Aberdi Odriozola. *Impacto de la implantación de un Sistema de Cuidado Traumatológico en la mortalidad del trauma severo.* 2006.

[29] Definición de cráneo, https://conceptodefinicion.de/craneo/.

[30] Cursos atls (advanced trauma life support), https://hospitalcruzrojacordoba.es/neurocirugia-cordoba/traumatismo-craneoencefalico-tce/.

[31] *Escala de Glasgow.* `https://www.elsevier.com/es-es/connect/medicina/escala-de-coma-de-glasgow`, Junio 2017.

[32] *Escala de Glasgow.* `http://emssolutionsint.blogspot.com/2011/12/glasgow-coma-scale-escala-de-coma-de.html`.

[33] year = 2020. pages = NPunto, 3(25):43–54, Isabel Lucía Martín Roldán, title = Actualización en el diagnóstico y tratamiento del traumatismo craneoencefálico.

[34] Cristobal Blanco Neurocirujano en Córdoba. Cursos atls (advanced trauma life support), https://neurorhb.com/traumatismo-craneoencefalico/.

[35] *Partes de un cráneo.* https://asociacioneducar.com/craneo.

[36] Real Acedémica Española. https://www.rae.es/dpd/t %c3 %b3rax.

[37] Stephen B.Choi y A.Adam Cwinn. *Manejo del paciente politraumatizado. Protoc diagn ter pediatr.* Pelvic trauma.

[38] Real Acedémica Española. https://dle.rae.es/abdomen.

[39] Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Lima). Facultad de Medicina. Escuela Académico Profesional de Medicina Humana. Departamento Académico de Cirugía. *CIRUGÍA : I CIRUGÍA GENERAL.* Lima : UNMSM, 1999.

[40] Instituto Nacional del Cáncer. https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/pelvis.

[41] Miguel Pinedo V. Manejo del paciente politraumatizado. protoc diagn ter pediatr. pages Vol. 17. Núm. 3.páginas 106–10, 2006.

[42] year = 2012. Aymon., title =EXTREMIDADES-GARCIA-FUENTES.pdf, @ Traumatismo de extremidades. rabdomiolisis. s´ındrome compartimental. s´ındrome de embolia grasa. lesiones de partes blandas. vac. https://eventos.aymon.es/wp-content/uploads/2012/10/12-TRAUMATISMOEXTREMIDADES-GARCIA-FUENTES.pdf, .

[43] title = Módulo 4. el paciente traumatizado. http://www.madrid.org/cs/Satellite, 2012., year = 2012. Juan Carlos González Luque María Arántzazu Menchaca Anduaga, Antonio Hernando Lorenzo.

[44]

[45] title = Cirugía del paciente politraumatizado, volume 1 of 1. Arán, Castelló, 128, 1.º 28006 Madrid year = 2 edition 2017 M.ª Dolores Pérez Díaz José Ceballos Esparragón, Antonio Hernando Lorenzo.

[46] García Fernández L. *Traumatismos raquimedulares.* 1994.

[47] *Cánula orofaríngea.* http://tecnicasenfermeriausc.blogspot.com/2017/12/utilizacion-de-canulas-oro-o.html.

[48] *Neumotórax.* https://www.mayoclinic.org/es-es/.

[49] *Tipos de Neumotórax.* https://www.msdmanuals.com/es-es/hogar/traumatismos-y-envenenamientos/.

[50] *Neumotórax A Tensión.* https://www.msdmanuals.com/es-es/professional/lesiones-y-envenenamientos/.

[51] Comité de trauma del colegio Americano de Cirujanos. Atls apoyo vital avanzado en truma para médicos.

[52] Luís Rafael Moscote Salazar. Atls apoyo vital avanzado en truma para médicos. *Trauma craneoencefálico atención inicial y manejo hospitalario. Duazary: Revista internacional de Ciencias de la Salud,.* 2010.

[53] Valverde Molina J. González Fernández AM, Torres Torres AR. *Traumatismo torácico, neumotórax,hemoptisis y tromboembolismo pulmonar.* Asociación Española de Pediatría.

[54] *Cánula orofaríngea.* https://amcg.org.mx/traumatismo-abdominal-cerrado/18-manejo-del-traumatimo-abdominal-cerrado.

[55] *FAST.* https://www.elsevier.es /es-revista-revista-medica-clinica-las-condes -202-articulo-ecografia-abdominal -dedicada-al-trauma-S0716864013701305: :.

[56] Tracy Tatiana Moran Lema. Karen Lissette Sánchez Anzules Gema Paola Zambrano Andrade Denisse Alejandra Pinela Baldeon. *Abordaje en trauma cerrado de abdomen.* RECIMUNDO: Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento.

[57] *ECO-FAST.* https://www.madrid.es/ficheros/SAMUR/data/607.htm.

[58] Irene Arjona Burgos. *MANEJO Y TRATAMIENTO DEL TRAUMATISMO PÉLVICO.* A Universidad Internacional de Andalucía, 2015.

[59] *MVC.* https://desarrolloweb.com/articulos/que-es-mvc.html.

[60] *Framework.* https://www.edix.com/es/instituto/framework/.

[61] *MVC1.* https://www.freecodecamp.org/espanol /news/el-modelo-de-arquitectura-view-controlle

[62] *MySQL.* https://openwebinars.net/blog/que-es-mysql/.

[63] *SQL.* https://universidadeuropea.com/blog/lenguaje-programacion-sql/.

[64] *Comandos SQL.* tursos.com/10-comandos-sql-que-te-pueden-ser-de-utilidad/.

[65] *Sequelize.* https://ed.team/blog/agiliza-tu-desarrollo-en-nodejs-con-el-orm-sequelize.

[66] *Npm.* https://codingpotions.com/npm-tutorial.

[67] *Express.* https://developer.mozilla.org /es/docs/Learn/Server-side/Express$_Nodejs/Introductio.$

[68] *API.* https://aulacm.com/que-es/api-informatica-significado-definicion/.

[69] *Javascript*, howpublished=https://soyrafaramos.com/que-es-javascript-para-que-sirve/,.

[70] *HTML*, howpublished=https://developer.mozilla.org/es/docs/web/html,.

[71] *CSS*, howpublished=https://developer.mozilla.org/es/docs/web/html,.

[72] *React*, howpublished=https://desarrolloweb.com/articulos /que-es-react-motivos-uso.html,.

[73] I. Glaser J. M., Qureshi and title = Improving initial trauma care efficiency. Technical Report 01, Defense Technical Information Center year = 2019. Freeman, C.

[74] Blanca Larraga García. *Automated Trauma Management Evaluation for Knowledge Acquisition Through Simulation.* PhD thesis, Departamento de Tecnología Fotónica y Bioingeniería Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, 2022.

[75] *Matriz de confusión.* https://www.juanbarrios.com/la-matriz-de-confusion-y-sus-metricas/, 2022.

[76] *CRUD*, howpublished=https://codigofacilito.com/articulos/crud-backend,.

[77] *Validación técnica*, howpublished=https://www.ambit-bst.com/blog/,.

[78] *Avance de las tecnologías*, howpublished=https://www.campusformaciongranada.es/,.

Apéndice A

A. Aspectos éticos, económicos, sociales y ambientales

Una vez finalizado el desarrollo e implementación del simulador clínico para el entrenamiento en el tratamiento de la enfermedad traumática grave, se procede a analizar el impacto que haya podido generar o que pueda generar en los aspectos sociales, económicos, éticos y ambientales.

A.1. Aspectos sociales

Hoy en día la enfermedad traumática grave representa la primera causa de muerte en menores de 45 años en países desarrollados [25]. La tecnología ha traído tras de sí grandes avances en el mundo de la medicina. Por un lado, ha provocado el desarrollo de mejores tratamientos, máquinas y medicamentos, consiguiendo un mejor pronóstico para los enfermos, ya que ayuda a detectar antes las enfermedades y encontrar la cura más rápido [78]. Los últimos avances tecnológicos que han tenido un gran impacto en nuestra salud han sido: la cirugía robótica, la impresión 3D, la neuroprótesis o la realidad virtual, entre otros.

El simulador clínico desarrollado en este Trabajo de Fin de Grado desea contribuir en ese avance tecnológico. El uso de este, va a permitir a los profesionales médicos entrenar sobre los casos clínicos todas las veces que consideren oportuno. De esta manera, podrán repasar los protocolos de actuación una y otra vez, consiguiendo interiorizarlos más rápidamente. De esta manera, que los profesionales sean capaces de actuar de una manera más rápida y eficaz al tratamiento de una lesión traumática grave.

A.2. Aspectos económicos

Uno de los objetivos principales del simulador web, es conseguir disminuir los fallos que puedan surgir durante el tratamiento del paciente. Estos fallos son traducidos en gastos sanitarios. Ya que pueden suponer la compra de nuevo material o la contratación de nuevo personal. El entrenamiento en casos clínicos a través del simulador puede ayudar a reducir dichos fallos.

A.3. Aspectos éticos

El desarrollo del simulador no ha supuesto grandes impactos éticos. Si cabría destacar, el hecho de que el trato al paciente emulado debe ser el mismo que si el paciente fuera real. Por lo tanto, es el profesional el que debe hacer un uso responsable del simulador.

A.4. Aspectos ambientales

Al ser un simulador web, el impacto a nivel ambiental es muy bajo. Debido a que no ha sido necesario el uso de nuevos materiales o la fabricación de nuevos productos.

Apéndice B

B. Presupuesto económico

El proceso de desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado ha tenido una duración de 5 meses y se ha conseguido gracias a la ayuda del Hospital Universitario La Paz y del departamento de Tecnología Fotónica y Bioingeniería de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones. En este Anexo se va a realizar una estimación de presupuesto económico en función de los recursos empleados y del personal contratado:

- **Personal**: Para la elaboración de este presupuesto se ha tenido en cuanta el número de horas dedicadas al proyecto y el salario medio de un Ingeniero de Telecomunicaciones recién graduado y uno experimentado. Según los valores del (Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicaciones) COIT, el ingeniero recién graduado cobra unos 12,50€ y profesional con aproximadamente 15 años de experiencia cobra unos 26,50€ la hora. Con toda esta información se procede a realizar el cálculo de coste de personal:

	Coste horario (€)	**Horas**	**Total (€)**
Director del trabajo	26,50	30	796
Estudiante de ingeniería	12,5	300	3.750
TOTAL			**4.545**

Tabla 7.1: Costes de personal.

- **Costes de recursos materiales**: Para la realización del proyecto se ha utilizado una única tecnología, un ordenador DESKTOP-1S6TQL4 con un procesador i7, 8GB RAM y un disco duro de 237 GB. Teniendo en cuenta que el proyecto realizado es mucho menor al tiempo de vida del ordenador, el presupuesto se va a calcular en función del tiempo que ha durado este proyecto. Esta estimación de presupuesto queda reflejada en 7.2

	Tiempo de vida (años)	**Uds.**	**Coste (€)**	**Amortización (€/mes)**	**Uso (meses)**	**Total (€)**
DESKTOP-1S6TQL4	4	1	700	11,66	4	58,33
TOTAL						58,33

Tabla 7.2: Costes de recursos materiales.

Finalmente, en la Tabla 7.3 se muestra el desglose total de todo el proyecto, incluyendo

los gastos de IVA.

	Coste
Costes de personal	3.750€
Costes de material	58,33€
Subtotal	4.603,33€
IVA	966,69€
Total	5.570,02€

Tabla 7.3: Costes totales.

Apéndice C

C. Manual de Usuario

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

El objetivo de esta formación es poder entrenar a los clínicos para hacer frente a este tipo de lesiones traumáticas. Para ello se realizará una primera simulación en la que se presentará un caso clínico de lesión traumática en la pelvis y se registrará la actuación llevada a cabo. Posteriormente, se proporcionarán diferentes casos de trauma pélvico para poder ir entrenando y aprendiendo con el simulador a lo largo de dos semanas. Para ello, todos los das 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.

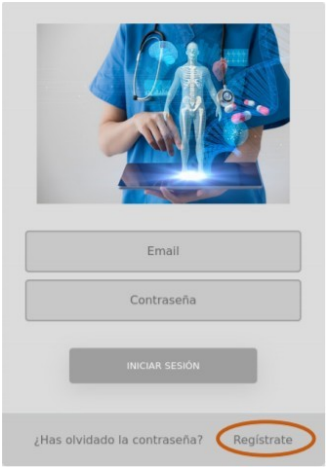


Figura 7.1: Pantalla inicial del simulador: Registrarse.

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.

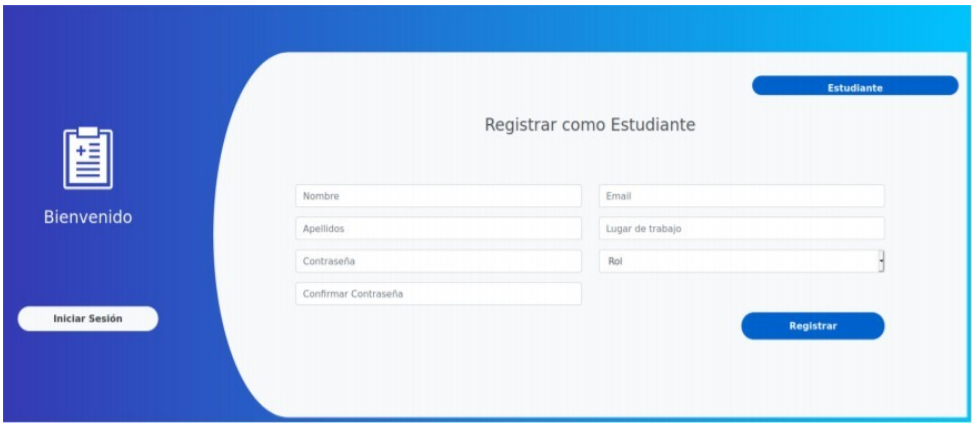


Figura 7.2: Pantalla de registro del simulador.

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.

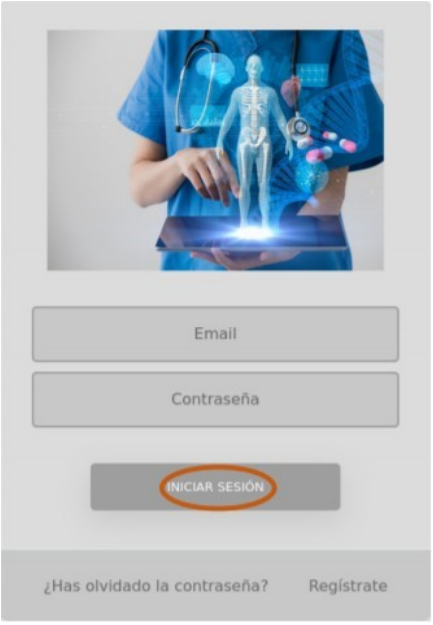


Figura 7.3: Pantalla inicial del simulador: Iniciar sesión.

4. Aparece dos opciones:

   - Examen
   - Entrenamiento

Figura 7.4: 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:

Logout

Fase	Sexo	Edad	Tipo de Traumatismo	Parte afectada	Tiempo	Evaluación	Acción
Pre Hospitalaria	**Hombre**	33	Pélvico	Pelvis	30	Pendiente	Entrar
Hospitalaria	**Hombre**	33	Pélvico	Pelvis	30	Pendiente	Entrar
Hospitalaria	**Hombre**	50	Miembro inferior	Pierna izquierda	30	Pendiente	Entrar
Pre Hospitalaria	**Hombre**	50	Miembro inferior	Pierna izquierda	30	Pendiente	Entrar
Hospitalaria	**Hombre**	82	Miembro inferior	Pierna izquierda	30	Pendiente	Entrar
Pre Hospitalaria	**Hombre**	82	Miembro inferior	Pierna izquierda	30	Pendiente	Entrar
Pre Hospitalaria	**Hombre**	50	Pélvico	Pelvis	30	Pendiente	Entrar

Figura 7.5: 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.

Logout

Fase	Sexo	Edad	Tipo de Traumatismo	Parte afectada	Tiempo	Evaluación	Acción
Pre Hospitalaria	**Hombre**	33	Pélvico	Pelvis	30	Pendiente	Entrar
Hospitalaria	**Hombre**	33	Pélvico	Pelvis	30	Pendiente	Entrar
Hospitalaria	**Hombre**	50	Miembro inferior	Pierna izquierda	30	Pendiente	Entrar
Pre Hospitalaria	**Hombre**	50	Miembro inferior	Pierna izquierda	30	Pendiente	Entrar
Hospitalaria	**Hombre**	82	Miembro inferior	Pierna izquierda	30	Pendiente	Entrar

Figura 7.6: 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.

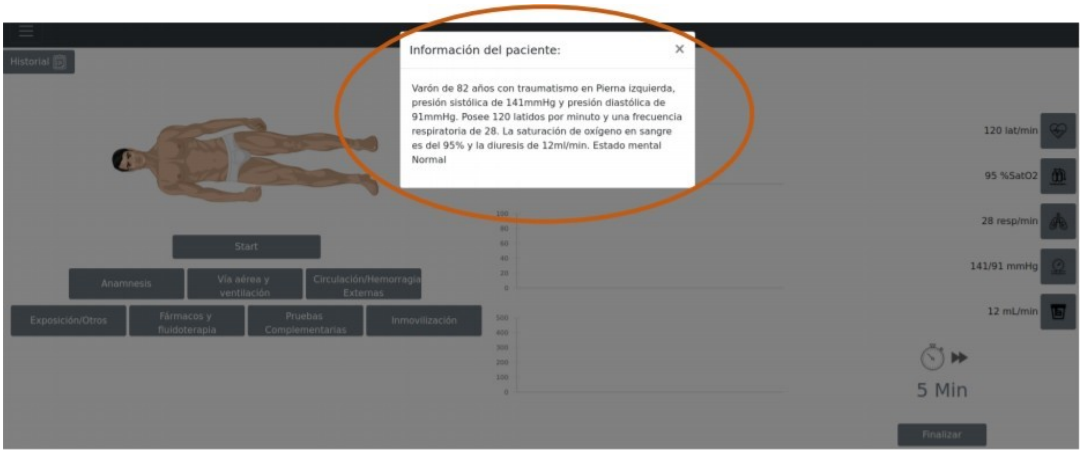


Figura 7.7: Pantalla de una simulación: Información del paciente.

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

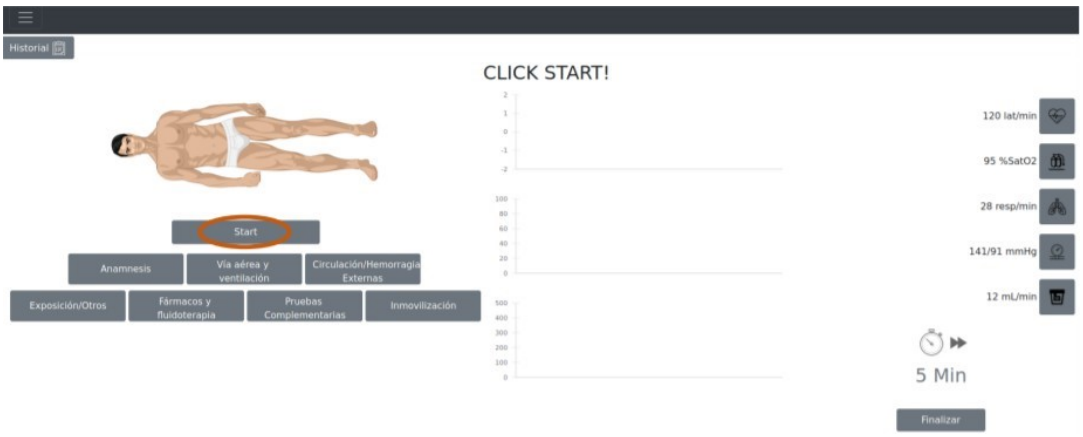


Figura 7.8: Pantalla de una simulación: Información del paciente.

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.

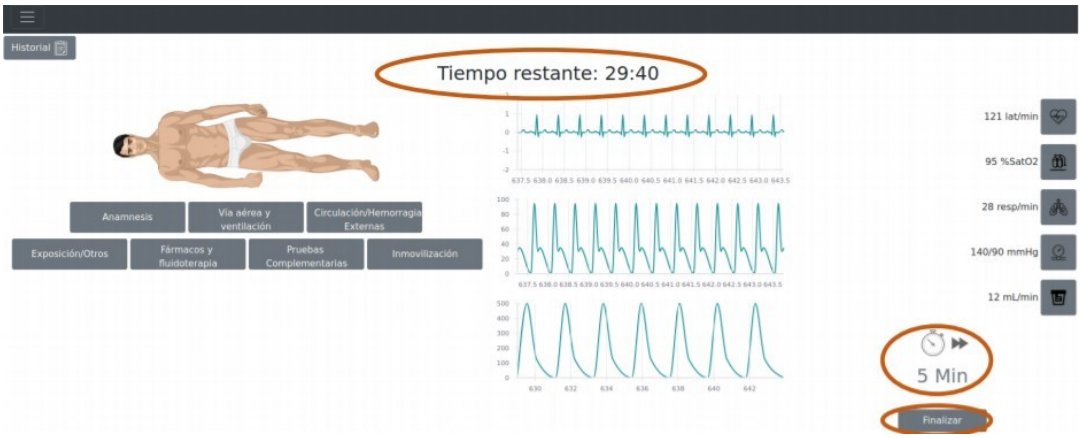


Figura 7.9: Pantalla de una simulación: partes principales.

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

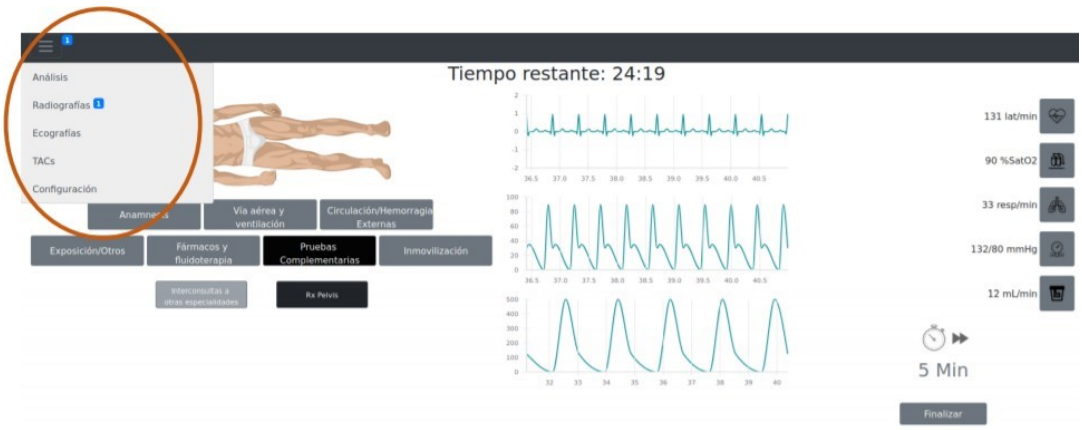


Figura 7.10: Pantalla de una simulación: Resultados de las pruebas.

9. En el caso de que en los primeros 4 minutos te hayan faltado acciones necesarias que hay que hacer en este lapso de tiempo. El simulador lanzará un alerta con el número de acciones que te quedan por hacer de cada tipo.

Figura 7.11: Alerta que aparece en los primeros 4 minutos, cuando no se ha hecho ninguna acción de las pertenecientes de 4 minuto

10. Cuando la simulación está a punto de finalizar y solo le queda 5 minutos, el simulador mostrará una alerta con el número de acciones mínimas que te quedan por hacer.

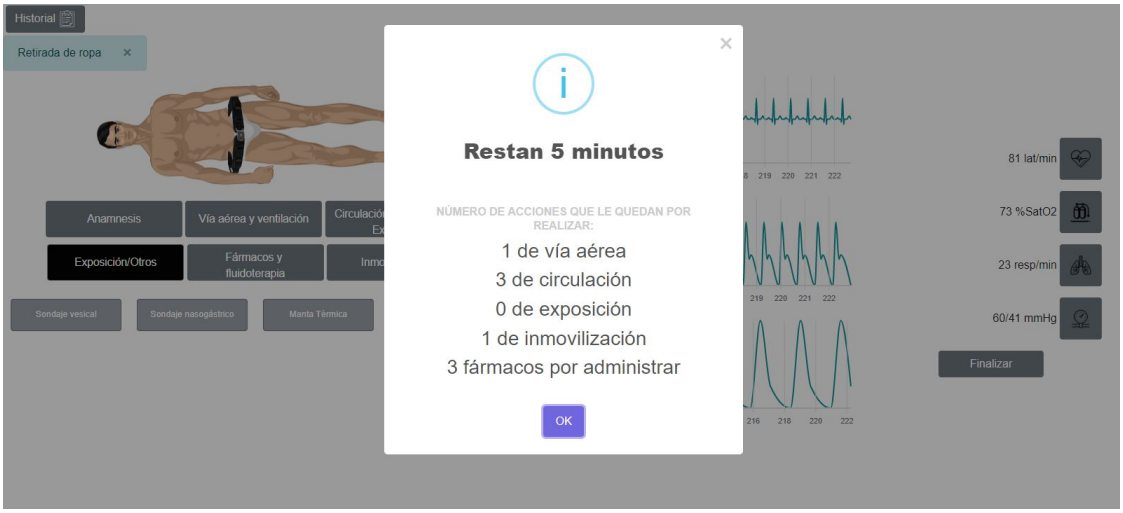


Figura 7.12: Alerta cuando restan 5 minutos

11. 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 solo 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 7.13: Pruebas complementarias: Interconsultas.

12. Una vez finalizada la simulación, aparece de nuevo el listado de simulaciones en la cual, la simulación finalizada presenta el botón Evaluar.

Fase	Sexo	Edad	Tipo de Traumatismo	Parte afectada	Tiempo	Evaluación	Acción
Pre Hospitalaria	Hombre	33	Pélvico	Pelvis	30	Evaluar	Volver a Entrar
Hospitalaria	Hombre	33	Pélvico	Pelvis	30	Pendiente	Entrar
Pre Hospitalaria	Hombre	82	Miembro inferior	Pierna izquierda	30	Pendiente	Entrar
Pre Hospitalaria	Hombre	50	Miembro inferior	Pierna izquierda	30	Pendiente	Entrar
Pre Hospitalaria	Hombre	50	Pélvico	Pelvis	30	Pendiente	Entrar

Figura 7.14: Pantalla de selección de simulaciones en modo entrenamiento: Evaluar o Volver a entrenar.

13. Al acceder a la evaluación se muestra una pantalla con las calificaciones obtenidas

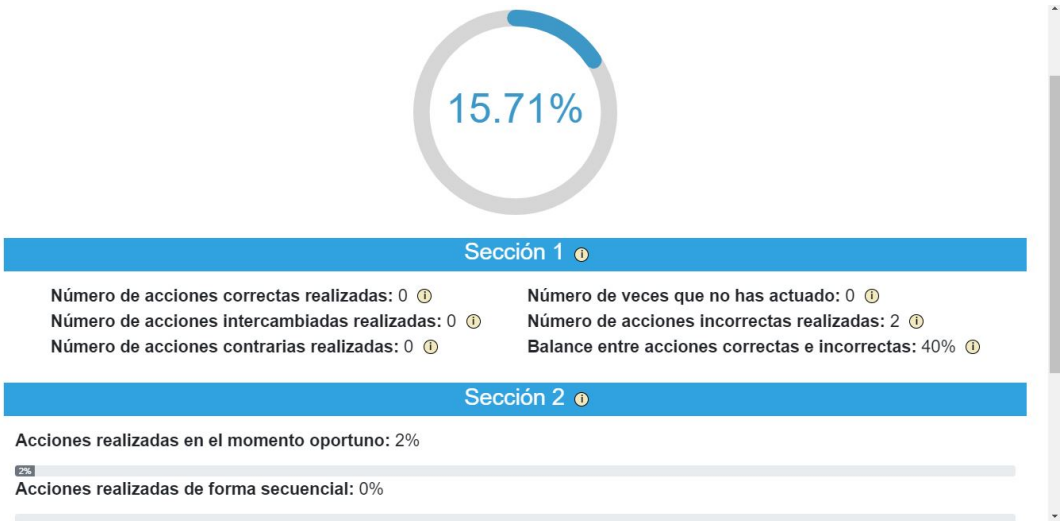


Figura 7.15: Pantalla de evaluar

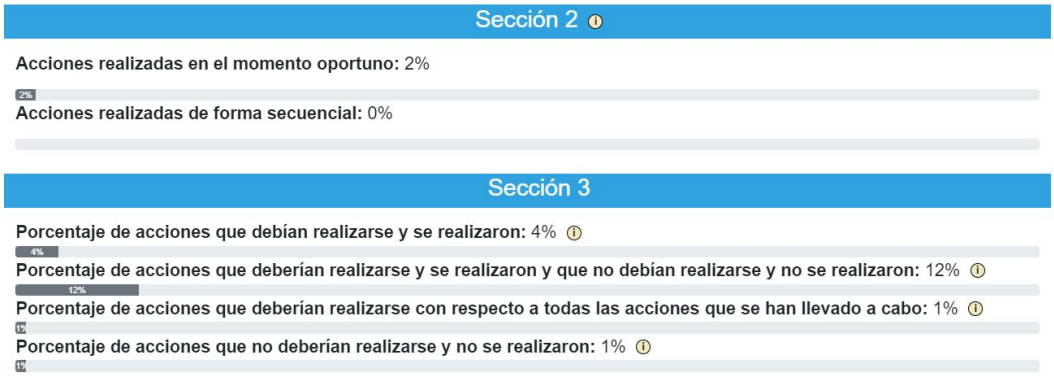


Figura 7.16: Pantalla de evaluar

14. En la Sección 1 existe un botón, que muestra una ventana emergente que explica el cómo se han calculado los parámetros de esta sección.

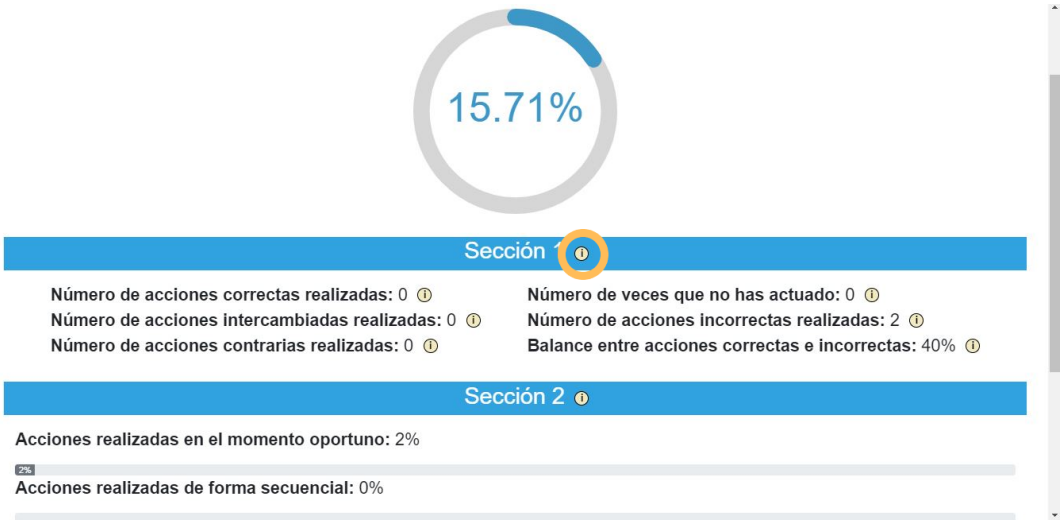


Figura 7.17: Pantalla de evaluar

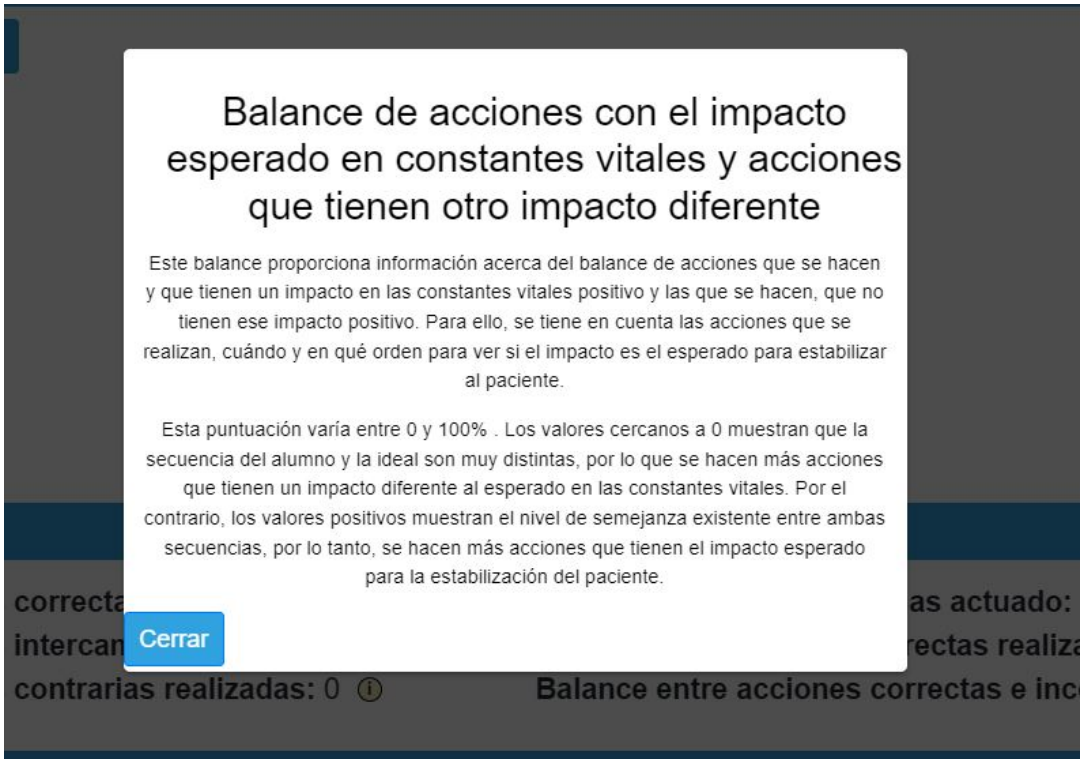


Figura 7.18: Pantalla informativa de la Sección 1

15. En la sección 2 existe el mismo botón que la sección anterior que muestra una pantalla emergente que explica el cómo se han calculado los parámetros de esta sección.

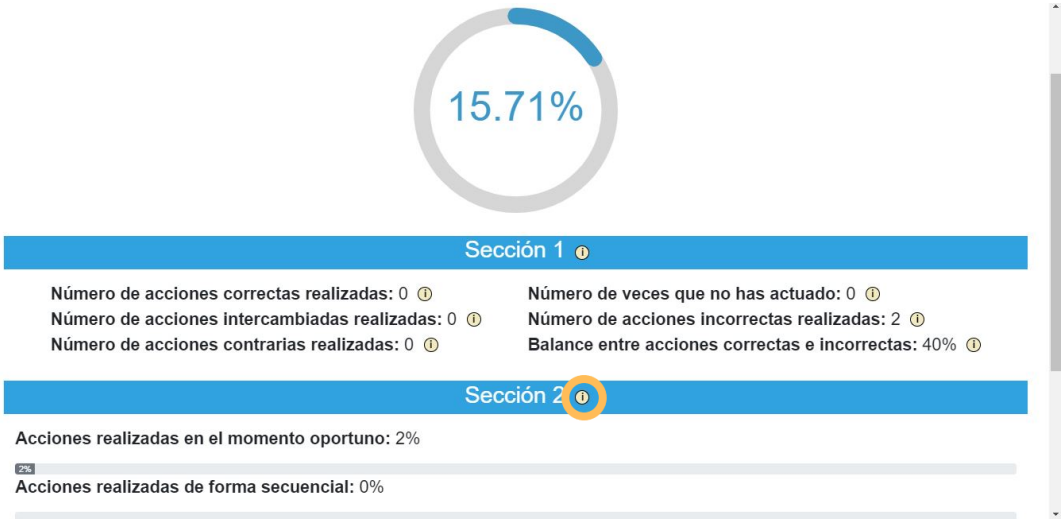


Figura 7.19: Pantalla de evaluar

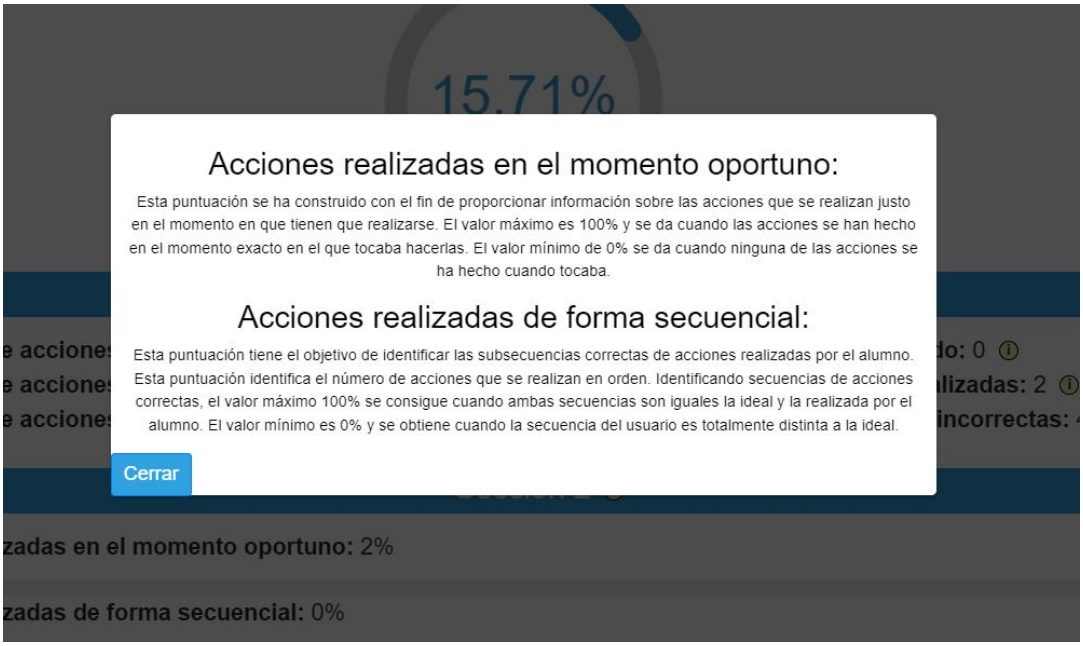


Figura 7.20: Pantalla informativa de la Sección 1

16. En la esquina izquierda de la pantalla de evaluación hay un botón que permite descargar un PDF que muestra un informe de como se ha hecho la evaluación en una hoja y en la otra los resultados de la evaluación.

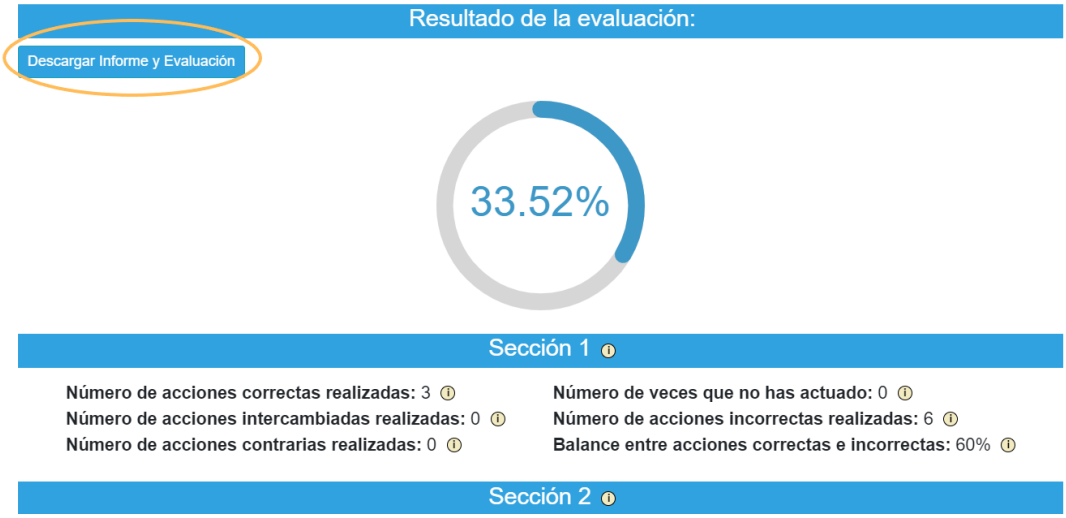
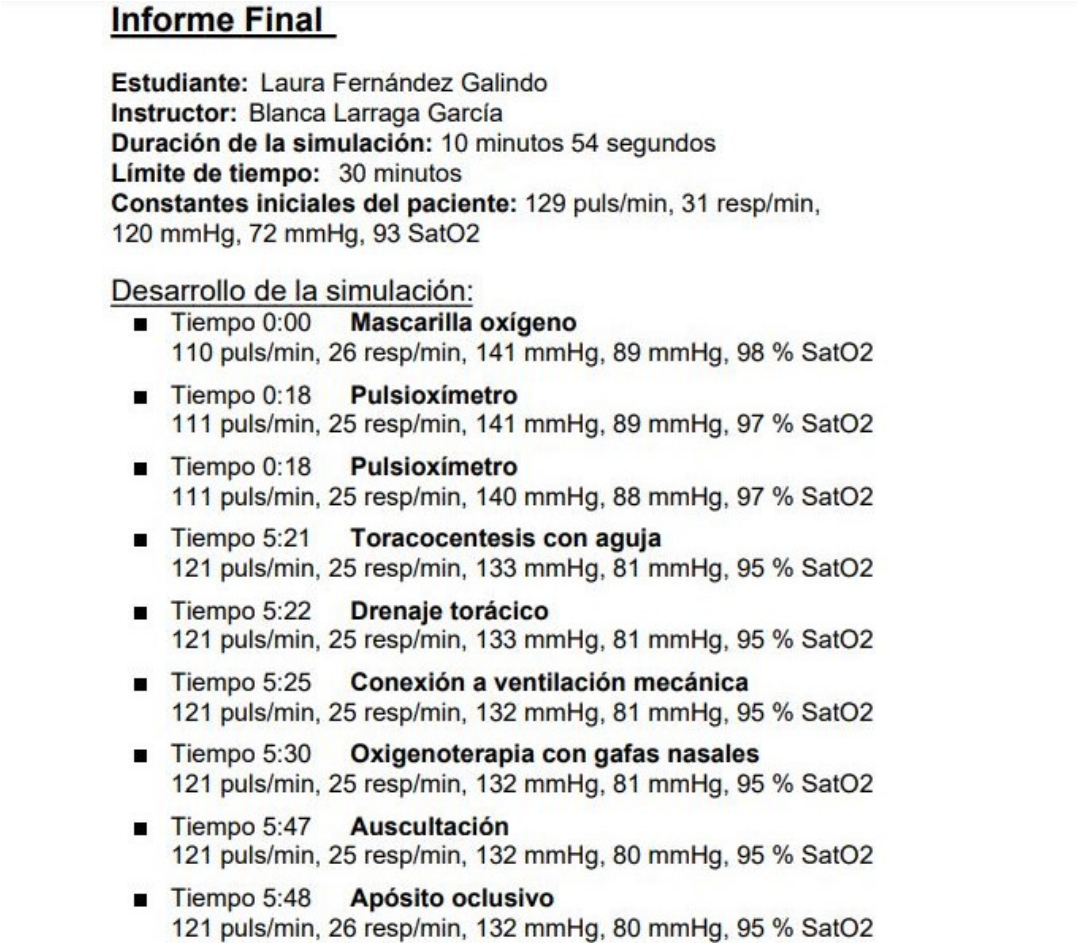


Figura 7.21: Pantalla de evaluación



Informe Final

Estudiante: Laura Fernández Galindo
Instructor: Blanca Larraga García
Duración de la simulación: 10 minutos 54 segundos
Límite de tiempo: 30 minutos
Constantes iniciales del paciente: 129 puls/min, 31 resp/min, 120 mmHg, 72 mmHg, 93 SatO2

Desarrollo de la simulación:

- Tiempo 0:00 **Mascarilla oxígeno**
  110 puls/min, 26 resp/min, 141 mmHg, 89 mmHg, 98 % SatO2
- Tiempo 0:18 **Pulsioxímetro**
  111 puls/min, 25 resp/min, 141 mmHg, 89 mmHg, 97 % SatO2
- Tiempo 0:18 **Pulsioxímetro**
  111 puls/min, 25 resp/min, 140 mmHg, 88 mmHg, 97 % SatO2
- Tiempo 5:21 **Toracocentesis con aguja**
  121 puls/min, 25 resp/min, 133 mmHg, 81 mmHg, 95 % SatO2
- Tiempo 5:22 **Drenaje torácico**
  121 puls/min, 25 resp/min, 133 mmHg, 81 mmHg, 95 % SatO2
- Tiempo 5:25 **Conexión a ventilación mecánica**
  121 puls/min, 25 resp/min, 132 mmHg, 81 mmHg, 95 % SatO2
- Tiempo 5:30 **Oxigenoterapia con gafas nasales**
  121 puls/min, 25 resp/min, 132 mmHg, 81 mmHg, 95 % SatO2
- Tiempo 5:47 **Auscultación**
  121 puls/min, 25 resp/min, 132 mmHg, 80 mmHg, 95 % SatO2
- Tiempo 5:48 **Apósito oclusivo**
  121 puls/min, 26 resp/min, 132 mmHg, 80 mmHg, 95 % SatO2

Figura 7.22: Primera página del PDF informe de resultados

Evaluación:

Nota:33.52%

Sección 1

Número de acciones correctas realizadas: 3

Número de veces que no has actuado: 0

Número de acciones intercambiadas realizadas: 0

Número de acciones incorrectas realizadas: 6

Número de acciones contrarias realizadas: 0

Balance entre acciones correctas e incorrectas: 60.0%

Sección 2

Acciones realizadas en el momento oportuno: 5%
Acciones realizadas de forma secuencial: 60.0%

Sección 3

Porcentaje de acciones que debían realizarse y se realizaron: 16.7%
Porcentaje de acciones que deberían realizarse y se realizaron y que no debían realizarse y no se realizaron:23.0%
Porcentaje de acciones que deberían realizarse con respecto a todas las acciones que se han llevado a cabo: 1.0%
Porcentaje de acciones que no deberían realizarse y no se realizaron: 1.0%

Figura 7.23: Segunda página del PDF resultados de la evaluación

17. Para salir del simulador basta con dar al botón Logout, al cierrar de pestaña o al botón de actualizar ventana.

Logout

Fase	Sexo	Edad	Tipo de Traumatismo	Parte afectada	Tiempo	Evaluación	Acción
Pre Hospitalaria	Hombre	33	Pélvico	Pelvis	30	Pendiente	Entrar
Hospitalaria	Hombre	33	Pélvico	Pelvis	30	Pendiente	Entrar
Hospitalaria	Hombre	50	Miembro inferior	Pierna izquierda	30	Pendiente	Entrar
Pre Hospitalaria	Hombre	50	Miembro inferior	Pierna izquierda	30	Pendiente	Entrar
Hospitalaria	Hombre	82	Miembro inferior	Pierna izquierda	30	Pendiente	Entrar
Pre Hospitalaria	Hombre	82	Miembro inferior	Pierna izquierda	30	Pendiente	Entrar
Pre Hospitalaria	Hombre	50	Pélvico	Pelvis	30	Pendiente	Entrar
Hospitalaria	Hombre	50	Pélvico	Pelvis	30	Pendiente	Entrar

Figura 7.24: Botón de cierra de sesión

Figura 7.25: Botón de actualizar la pestaña

Figura 7.26: Botón de cierre de pestaña

18. Si en algún momento decides volver a iniciar sesión sin haber salido de la sesión activo, el simulador devuelve la siguiente alerta:

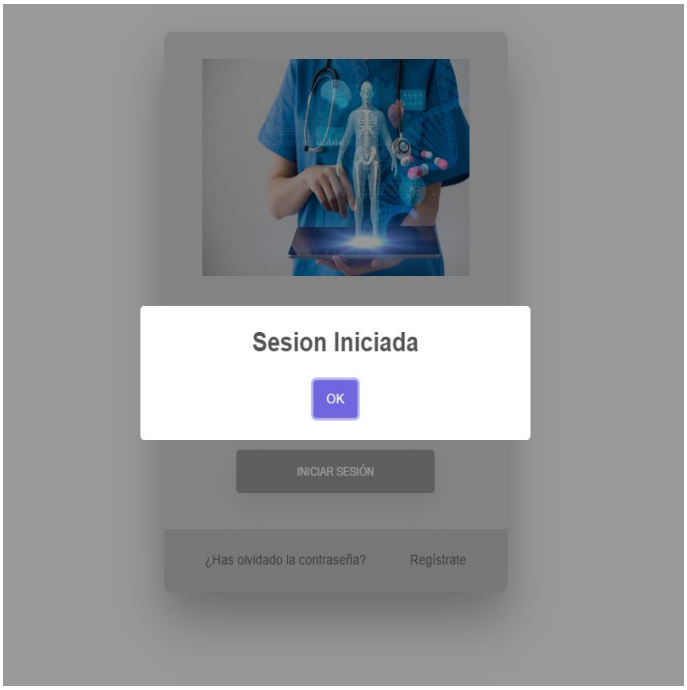


Figura 7.27: Alerta de inicio de sesión.

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

Apéndice D

D. Manual de 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/Robolabo/ trauma-simulator/tree/Laura 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 7.28.

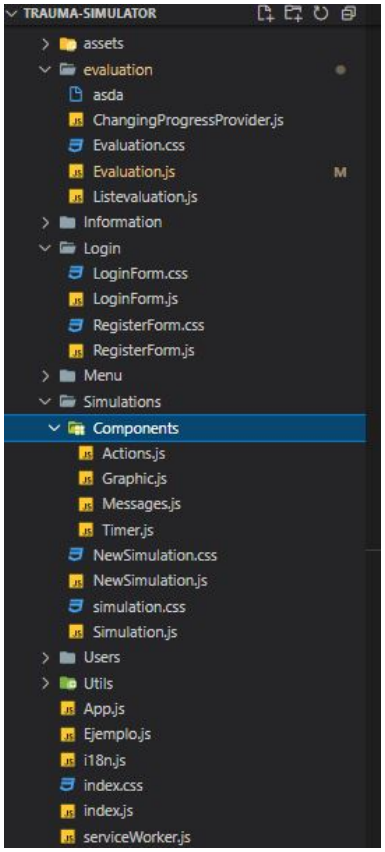


Figura 7.28: Directorio *src* del frontend.

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 el directorio *Components* en el archivo *Timer.js* se desarrollaron una serie de alertas que avisan al usuario cuando han transcurrido los primeros 4 minutos y se le informa sobre las acciones que le quedan por hacer. A los 25 minutos del inicio también aparece una alerta mostrando el número de acciones mínimas que le queda por hacer al usuario.

- **Login:** directorio en el que se encuentran los componentes que se encargan del inicio de sesión. El archivo *LoginForm.js* fue modificado para conseguir que no se pudiera iniciar más de una sesión de manera simultánea.

- **Evaluation:** directorio en el que se encuentra el archivo **Evaluation.js** se encarga de mostrar todos los parámetros correspondientes a la evaluación.

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:

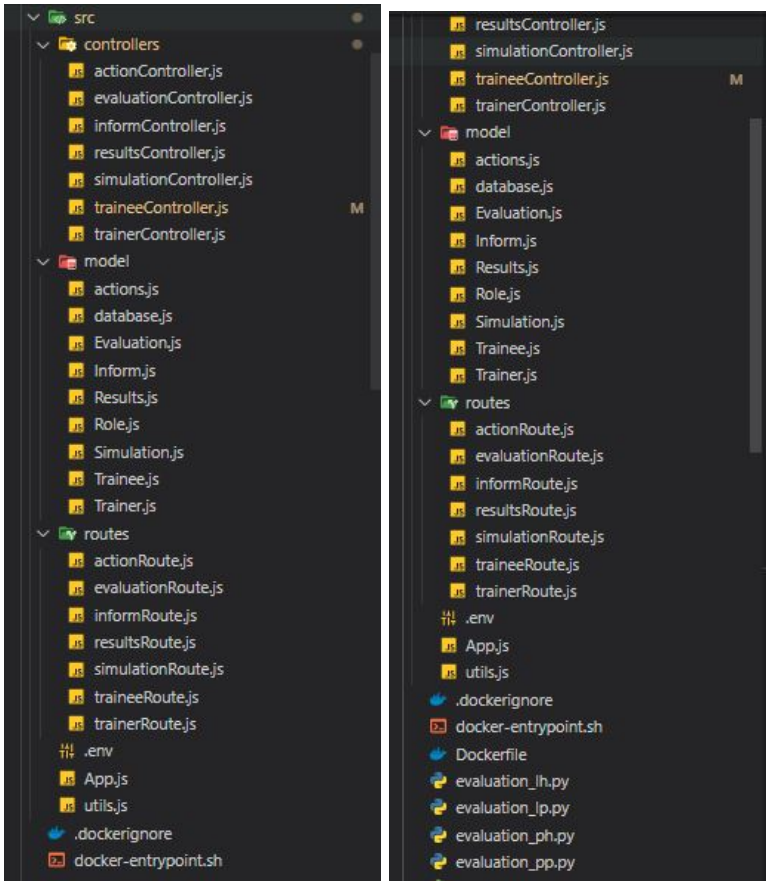


Figura 7.29: Directorio *src* del backend.

- **App.js:** se encuentran las 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 *Evaluation.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.

Apéndice E

E. Acciones

Número de Acción	Nombre de Acción
7	Mascarilla oxígeno
8	Collarín cervical
10	Manta térmica
12	Cinturón pélvico
16	Rx Pelvis
19	Limpiar vía aérea
25	Intubación
28	Torniquete
29	Auscultación
30	Pulsioxímetro
32	Cánula orofaríngea
34	Oxigenoterapia con gafas nasales
35	Capnógrafo
37	Ventilación con bolsa autoinflable
38	Apósito oclusivo
39	Toracocentesis con aguja
40	Drenaje torácico
41	Férula de vacío
42	Control cervical manual
43	Colchón de vacío
48	Presión directa
49	Agente hemostático
50	Canalización VVP
51	Canalización IO
52	PANI Digital
53	6 Derivaciones

Tabla 7.4: Acciones Implementadas I

Número de acciones	Nombre de acciones
54	ECG 12 Derivaciones
62	Sondaje vesical
63	Sondaje nasogástrico
65	Fentanilo 50mcg IV
66	Midazolam 2mg IV
67	Ácido Tranexámico 1g IV
68	Noradrenalina IV
69	SSF 20ml/kg en 10 minutos
70	SSF 500ml mantenimiento
71	Voluven 250ml IV
72	SG 5 % mantenimiento
78,83,88,93,98,103	Anamnesis
108,113,118,123,128	Anamnesis
130	Retirada de ropa
131	Protocolo de transfusión masiva
132	Solicitud de ineterconsultas a otras especialidades

Tabla 7.5: Acciones Implementadas II

Apéndice F

F. Pruebas de Validación

F.1. Sesiones simultáneas

- El usuario cuando inicia sesión el atributo session pasa a valer true, para demostrar que eso es así mediante la herramienta Postman realizamos la llamada a la API como lo haría el frontend:

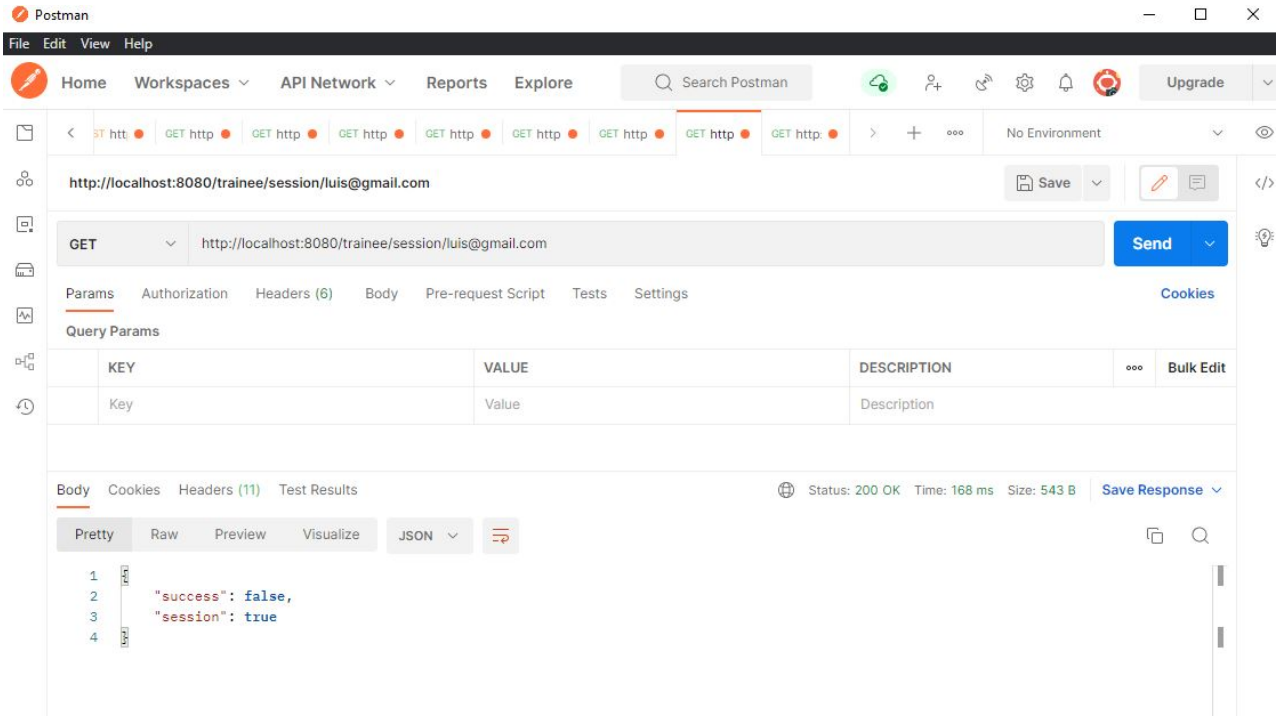


Figura 7.30: Prueba del valor de la variable session.

- Si el usuario antes de cerrar su sesión actual, decide volver a iniciar sesión el simulador le manda el siguiente mensaje:

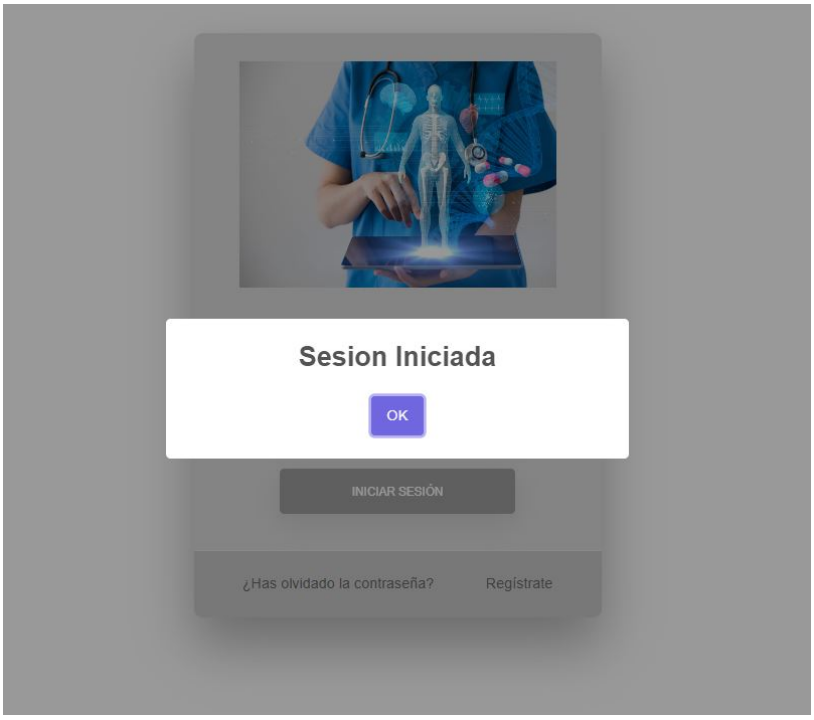


Figura 7.31: Prueba del valor de la variable session.

- Si el usuario cierra sesión el atributo session vale false. Lo que va a permitir al usuario volver a iniciar sesión. Mediante Postman probamos a realizar la misma llamada que se haría si el usuario decide cerrar sesión desde el frontend:

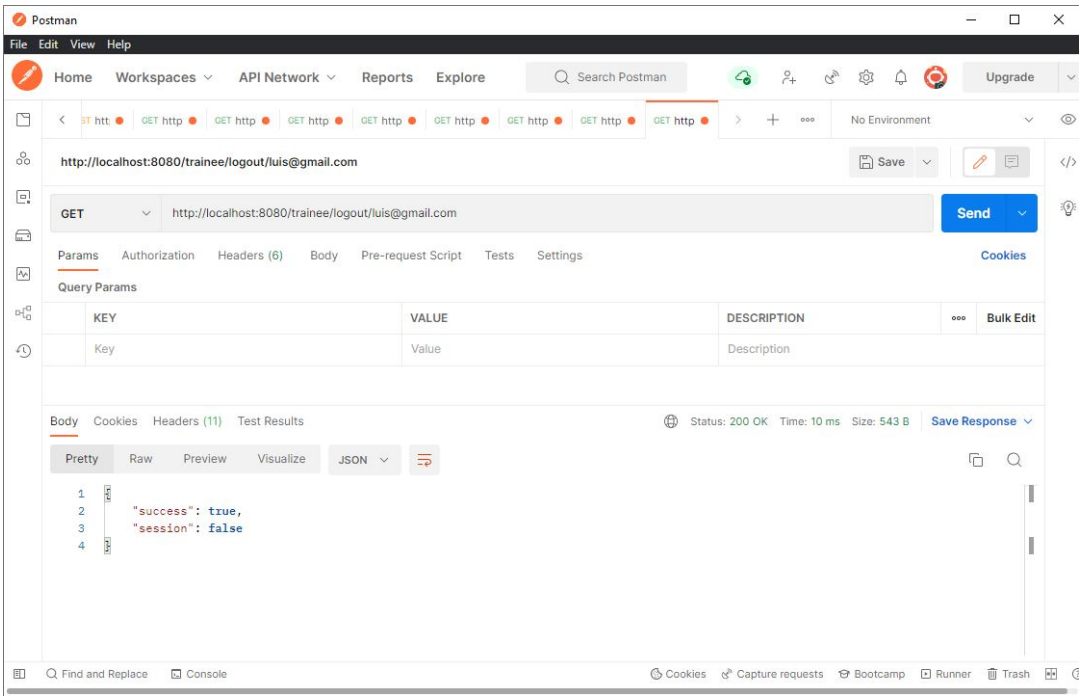


Figura 7.32: Prueba de liberación de la sesión.

F.2. Diferentes resultados de evaluación en función del escenario

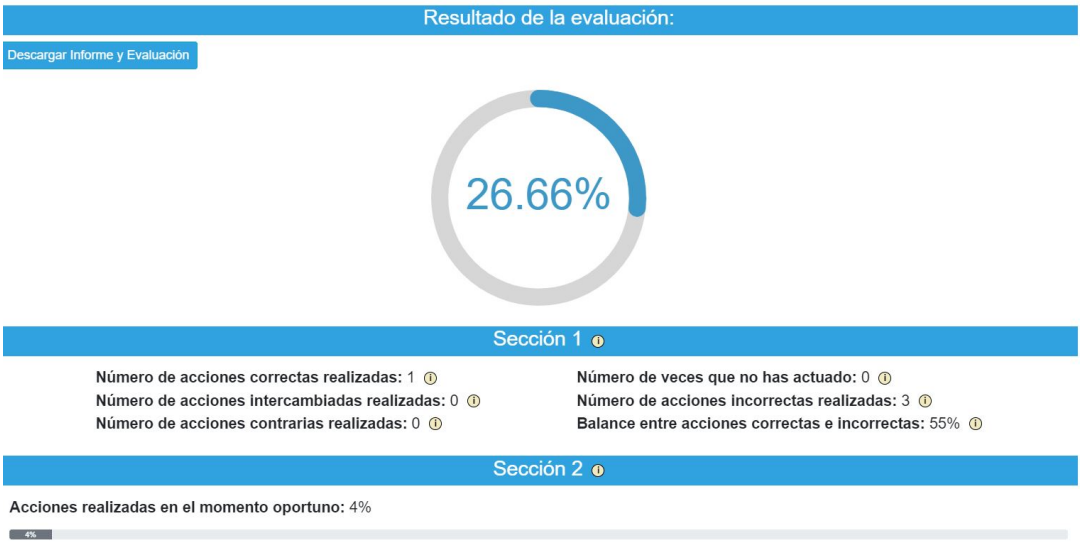


Figura 7.33: Evaluación de un esceranario prehospitalario pélvico.

Figura 7.34: Evaluación de un escenario pélvico hospitalario.

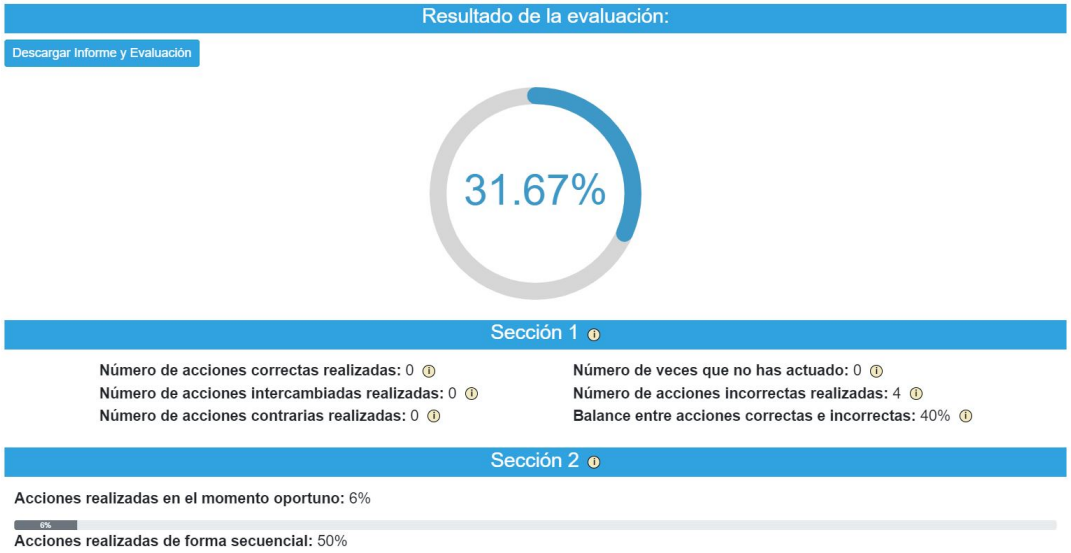


Figura 7.35: Evaluación de un escenario prehospitalario de miembro inferior.

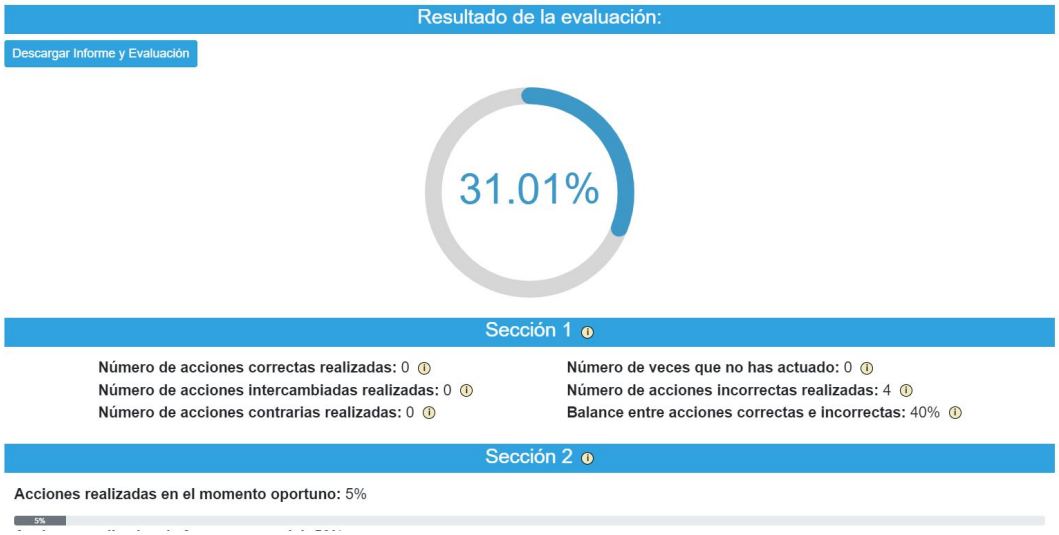


Figura 7.36: Evaluación de un escenario hospitalario de miembro inferior.

F.3. Como se rellena la base de datos después de realizar una simulación

El usuario con el identificador número 1 realiza 5 simulaciones y la Figura 7.37 muestra como todas esas simulaciones tienes los campos utilizados para el proceso de evaluación rellenos.

	id	traineeId	simulationId	matches	swap	contr	gasp	mismatches	GA	Diag	Subseq	Preci	Recall	Specificity	Accuracy	F1	Nota
▶	1	1	1	1	1	0	0	11	48.33	4.0	0	0.9	37.5	0.5	38.0	53.0	27.48
	2	1	1	1	1	0	0	11	48.33	4.0	0	0.9	37.5	0.5	38.0	53.0	27.48
	3	1	1	1	1	0	0	11	48.33	4.0	0	0.9	37.5	0.5	38.0	53.0	27.48
	4	1	1	1	1	0	0	11	48.33	4.0	0	0.9	37.5	0.5	38.0	53.0	27.48
	5	1	2	0	0	0	0	10	40.0	6.0	20.0	0.875	29.2	0.5	31.0	44.0	26.44

Figura 7.37: Base de datos rellena con los valores correspondientes.

F.4. Prueba de que el informe guarda los valores correctamente

- Se muestra la pantalla de evaluación:

Figura 7.38: Prueba pantalla evaluacion I

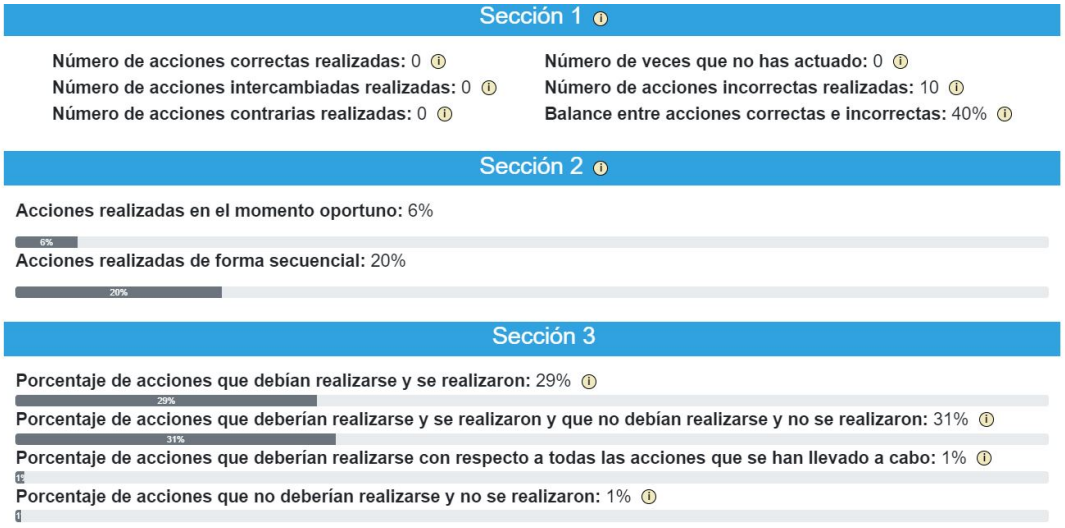


Figura 7.39: Prueba pantalla evaluacion II

- Informe generado:

Hospital Univer
La Paz

Informe Final

Estudiante: Luis Castañeda López
Instructor: Entrenador
Duración de la simulación: 6 minutos 58 segundos
Límite de tiempo: 30 minutos
Constantes iniciales del paciente: 133 puls/min, 34 resp/min, 131 mmHg, 83 mmHg, 92 SatO2

Desarrollo de la simulación:

- Tiempo 0:07 **Limpiar vía aérea**
  120 puls/min, 28 resp/min, 141 mmHg, 91 mmHg, 95 % SatO2
- Tiempo 0:18 **Intubación**
  121 puls/min, 28 resp/min, 141 mmHg, 91 mmHg, 95 % SatO2
- Tiempo 0:20 **Cánula orofaríngea**
  121 puls/min, 28 resp/min, 141 mmHg, 91 mmHg, 95 % SatO2
- Tiempo 0:22 **Capnógrafo**
  121 puls/min, 28 resp/min, 141 mmHg, 91 mmHg, 95 % SatO2
- Tiempo 1:15 **PANI Digital**
  123 puls/min, 29 resp/min, 141 mmHg, 91 mmHg, 95 % SatO2
- Tiempo 1:17 **6 Derivaciones**
  123 puls/min, 29 resp/min, 141 mmHg, 91 mmHg, 95 % SatO2
- Tiempo 1:18 **Presión directa**
  123 puls/min, 29 resp/min, 141 mmHg, 91 mmHg, 95 % SatO2
- Tiempo 1:24 **Collarín cervical**
  123 puls/min, 29 resp/min, 141 mmHg, 91 mmHg, 95 % SatO2
- Tiempo 1:25 **Férula de vacio**
  123 puls/min, 29 resp/min, 141 mmHg, 91 mmHg, 95 % SatO2
- Tiempo 1:27 **Control cervical manual**
  123 puls/min, 29 resp/min, 141 mmHg, 91 mmHg, 95 % SatO2

Figura 7.40: Prueba pantalla evaluacion II

Evaluación:

Nota:26.44%

Sección 1

Número de acciones correctas realizadas: 0

Número de veces que no has actuado: 0

Número de acciones intercambiadas realizadas: 0

Número de acciones incorrectas realizadas: 10

Número de acciones contrarias realizadas: 0

Balance entre acciones correctas e incorrectas: 40.0%

Sección 2

Acciones realizadas en el momento oportuno: 6%
Acciones realizadas de forma secuencial: 40.0%

Sección 3

Porcentaje de acciones que debían realizarse y se realizaron: 29.2%
Porcentaje de acciones que deberían realizarse y se realizaron y que no debían realizarse y no se realizaron:31.0%
Porcentaje de acciones que deberían realizarse con respecto a todas las acciones que se han llevado a cabo: 0.875%
Porcentaje de acciones que no deberían realizarse y no se realizaron: 0.5%

Figura 7.41: Prueba pantalla evaluacion II

Apéndice F

G. Informe

Hospital Universitario La Paz

Informe Final

Estudiante: Luis Castañeda López
Instructor: Entrenador
Duración de la simulación: 6 minutos 58 segundos
Límite de tiempo: 30 minutos
Constantes iniciales del paciente: 133 puls/min, 34 resp/min, 131 mmHg, 83 mmHg, 92 SatO2

Desarrollo de la simulación:

- Tiempo 0:07 **Limpiar vía aérea**
  120 puls/min, 28 resp/min, 141 mmHg, 91 mmHg, 95 % SatO2
- Tiempo 0:18 **Intubación**
  121 puls/min, 28 resp/min, 141 mmHg, 91 mmHg, 95 % SatO2
- Tiempo 0:20 **Cánula orofaríngea**
  121 puls/min, 28 resp/min, 141 mmHg, 91 mmHg, 95 % SatO2
- Tiempo 0:22 **Capnógrafo**
  121 puls/min, 28 resp/min, 141 mmHg, 91 mmHg, 95 % SatO2
- Tiempo 1:15 **PANI Digital**
  123 puls/min, 29 resp/min, 141 mmHg, 91 mmHg, 95 % SatO2
- Tiempo 1:17 **6 Derivaciones**
  123 puls/min, 29 resp/min, 141 mmHg, 91 mmHg, 95 % SatO2
- Tiempo 1:18 **Presión directa**
  123 puls/min, 29 resp/min, 141 mmHg, 91 mmHg, 95 % SatO2
- Tiempo 1:24 **Collarín cervical**
  123 puls/min, 29 resp/min, 141 mmHg, 91 mmHg, 95 % SatO2
- Tiempo 1:25 **Férula de vacio**
  123 puls/min, 29 resp/min, 141 mmHg, 91 mmHg, 95 % SatO2
- Tiempo 1:27 **Control cervical manual**
  123 puls/min, 29 resp/min, 141 mmHg, 91 mmHg, 95 % SatO2

Figura 7.42: Prueba pantalla evaluacion II

Evaluación:

Nota:26.44%

Sección 1

Número de acciones correctas realizadas: 0

Número de veces que no has actuado: 0

Número de acciones intercambiadas realizadas: 0

Número de acciones incorrectas realizadas: 10

Número de acciones contrarias realizadas: 0

Balance entre acciones correctas e incorrectas: 40.0%

Sección 2

Acciones realizadas en el momento oportuno: 6%
Acciones realizadas de forma secuencial: 40.0%

Sección 3

Porcentaje de acciones que debían realizarse y se realizaron: 29.2%
Porcentaje de acciones que deberían realizarse y se realizaron y que no debían realizarse y no se realizaron:31.0%
Porcentaje de acciones que deberían realizarse con respecto a todas las acciones que se han llevado a cabo: 0.875%
Porcentaje de acciones que no deberían realizarse y no se realizaron: 0.5%

Figura 7.43: Prueba pantalla evaluacion II