

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

Núcleo de Ingeniería Biomédica
de las Facultades de Medicina e Ingeniería

JUSEGU

Versión 1.1

Juego de Seguridad Eléctrica en Hospitales

*Proyecto, implementación y pruebas de un prototipo original de juego didáctico para
satisfacer parte de los requerimientos de la asignatura “Proyecto de grado” del
Instituto de Computación*

Eduardo Marichal

Tutor: Prof. Ing. Franco Simini

Docente Supervisor: Prof. Ing. Jorge Triñanes

Defensa pública en el Hospital de Clínicas, piso 15, 17 de diciembre de 2014

1 Agradecimientos

En primer lugar agradezco al profesor Franco Simini por el apoyo y coordinación del proyecto, identificar oportunidades de mejora y por dedicar de su tiempo, energía y motivación.

Agradezco a Marta Bez por brindar su apoyo, inmejorable disposición, hospitalidad, integración, paciencia y una grata estadía en Novo Hamburgo, Río Grande do Sul, Brasil. Tuve una excelente experiencia en las instalaciones de la Universidad de Feevale que me permitió conocer desde otra perspectiva el ambiente de desarrollo de aplicaciones gráficas, a nivel educativo y profesional.

No puedo dejar de mencionar a quienes participaron de las distintas instancias de testing y me dieron su honesta opinión acerca del juego y los aspectos gráficos.

Agradezco a Juan Manuel San Martín y Gerardo Goñi quienes se prestaron con total disposición a ayudarme a armar el stand de JUSEGU v1.1 en el evento Ingeniería de Muestra y a colaborar en otros aspectos de la exposición.

También agradezco al Ing. Ismael Dosil quien prestó de su tiempo para evacuar dudas acerca del formato para la tesis de grado.

Por último pero no menos importante, a mi familia y a mi novia Inés Placedes que me dieron el apoyo y motivación necesarios para llevar adelante este proyecto.

Índice

1	Agradecimientos.....	3
2	Introducción.....	8
2.1	Resumen del Proyecto	8
2.2	Objetivos del Proyecto.....	9
2.3	Estructura y contenido de la entrega.....	9
3	Especificación.....	11
3.1	Contexto del problema.....	11
3.2	Actores, tipos de usuarios y necesidades	11
3.3	Estado del Arte.....	12
4	Descripción de la Solución.....	17
4.1	Descripción funcional del producto	17
4.2	Menú Principal.....	17
4.3	Pantalla de Instrucciones	20
4.4	Pantalla de Configuración.....	21
4.5	Concepto de “Suerte” para el Jugador	21
4.6	Puntuaciones	22
4.7	Situaciones de riesgo	22
4.7.1	Reemplazo de Filtros HEPA.....	23
4.7.2	Reemplazo de Radio Bidireccional (VHF/UHF) en Ambulancia	24
4.7.3	Humedades en Quirófano	25
4.7.4	Desfibrilador con fecha de Inspección Expirada.....	26
4.7.5	Mantenimiento en Máquina de Anestesia.....	27
4.7.6	Reemplazo de placas de Electro-bisturí por electrodos.....	28
4.7.7	Situación de Emergencia en el Resonador Magnético.	29
4.7.8	Derrame de residuos patogénicos.....	30

4.7.9	Macroshock	31
4.7.10	Microshock	32
4.7.11	Señalización deficiente pone en riesgo a una niña	33
4.7.12	Electrocución en baño masculino	34
4.7.13	Riesgo en el Resonador: Tanque de Oxígeno en la puerta.	34
4.7.14	Cortocircuito en la Cafetería.....	35
4.7.15	Generador con depósitos sin combustible	36
4.8	Server-Side Ranking	37
5	Proyecto	39
5.1	Proceso y ciclo de vida	39
5.2	Metodologías de referencia.....	39
5.2.1	Guía del PMBOK	39
5.3	Gestión de riesgos y planificación	41
5.4	Principales riesgos del proyecto	41
5.4.1	Conclusiones.....	43
5.5	Relevamiento de requerimientos	44
5.5.1	Justificación de la estrategia de relevamiento	44
5.5.2	Técnicas de relevamiento y resultados de investigación	44
5.6	Arquitectura	45
5.6.1	Características de calidad consideradas.....	46
5.6.2	Aspectos principales de la Arquitectura	46
5.6.3	Herramientas y ambientes utilizados para el desarrollo	48
5.7	Gestión de la configuración	48
5.7.1	Introducción y definiciones	48
5.8	Aspectos funcionales de JUSEGU.....	49
5.8.1	Descripción.....	49
5.9	Conclusiones del proyecto	50

5.9.1	Conclusiones sobre la ingeniería de requerimientos	50
5.9.2	Conclusiones sobre el uso de tecnologías	51
5.9.3	Conclusiones sobre la gestión del proyecto.....	51
6	Glosario	53
7	Referencias	55
8	Anexos.....	58
8.1	Anexo 1: Especificación de situaciones de riesgo de JUSEGU v1.1	58
8.2	Anexo 2: Investigación y selección del motor gráfico a utilizar	58
8.3	Anexo 3: Estadía en la Universidad FEEVALE, Novo Hamburgo, Brasil	58
8.4	Anexo 4: Documentación por videos del modelado tridimensional de la estructura del Hospital	58
8.4.1	Video: Estructura geométrica del Hospital	58
8.4.2	Video: Una recorrida por el modelo geométrico	58
8.4.3	Video: Texturado del Hospital	58
8.4.4	Video: Texturado 2 + Infraestructura.....	58
8.4.5	Video: Casos de uso parte 1	58
8.4.6	Video: Casos de uso parte 2.....	59
8.4.7	Video: Casos de uso parte 3.....	59
8.4.8	Video: Casos de uso parte 4.....	59
8.5	Anexo 5: Planilla de horas	59

2 Introducción

La tecnología médica ha aumentado considerablemente la seguridad de los equipos y ha reducido los riesgos asociados al manejo y a su utilización. En la actualidad, en las aplicaciones médicas los niveles de seguridad que deben reunir los sistemas de instrumentación están normalizados (Thevenet, 2008). Resulta obvio que no puede asegurarse un riesgo nulo en el uso del equipo. Sin embargo, su adecuada utilización por parte de usuarios instruidos minimiza los riesgos eléctricos y aumenta la seguridad del paciente.

El aumento de la complejidad de los dispositivos médicos y su manejo puede provocar daños a pacientes si no se respetan ciertas normas de seguridad (Medical Technologies & Devices, 1995-2014). La mayoría de estos daños se pueden atribuir a un uso inadecuado del equipo o a falta de experiencia en su manejo. Por lo tanto, suponiendo que el equipo puede fallar, se debe capacitar al técnico responsable de su manutención en los diferentes contextos y en las situaciones más adversas.

En este sentido los simuladores en forma de videojuegos logran desarrollar las capacidades cognitivas del jugador, para enriquecer sus conocimientos a través de la percepción de la realidad que desarrolla en los distintos situaciones de riesgo.

2.1 Resumen del Proyecto

JUSEGU v1.1 es un videojuego que pretende dar una visión del problema de la seguridad eléctrica en un hospital, considerando situaciones que pueden poner en riesgo la vida del paciente. De hecho, los pacientes de un hospital bajo ciertas condiciones pueden ser más susceptibles al peligro de la corriente eléctrica que una persona en su caso o trabajo, por lo cual el videojuego propone tomar precauciones especiales en los equipos o instrumentos médicos y en el manejo de las instalaciones.

Las condiciones bajo las que se presentan estos problemas son difíciles de percibir durante la formación teórica, por lo que se piensa que un videojuego como JUSEGU v1.1 -que ofrece un entorno 3D y un situación de riesgo que representa la realidad de trabajo en un hospital- constituye un ambiente docente adecuado. El objetivo del videojuego es comprender las medidas más importantes de seguridad eléctrica en contextos hospitalarios para minimizar el riesgo de peligro.

Los situaciones de riesgo que toman lugar en JUSEGU v1.1 están incluidos en el presente documento con una breve descripción de la situación que genera un riesgo eléctrico para el paciente o para el personal médico, y de la acción esperada por parte del jugador (en el contexto del juego). La resolución correcta de la situación mitiga la situación de riesgo y genera puntos a su favor. En aquellos casos en que el jugador no

tome la acción esperada para resolver el riesgo, se le asignan puntos negativos o en el peor caso se termina el juego (GAME OVER).

2.2 Objetivos del Proyecto

El proyecto tiene como objetivo primario incrementar el contenido didáctico del curso de Seguridad Eléctrica en Hospitales, siendo una herramienta más para transmitir los conceptos de seguridad hacia el estudiante a través de las situaciones de riesgo de riesgo.

Otro de los objetivos primarios es motivar la capacidad de aprendizaje del estudiante a través del uso de juegos interactivos y de competencia didáctica (a través de los puntajes obtenidos) junto a sus compañeros de curso.

Al resolver el problema técnico de la especificación, desarrollo y pruebas de JUSEGU v1.1, también se adquiere experiencia en los siguientes aspectos

- Adquirir experiencia y desarrollar mecanismos de la ingeniería de requerimientos.
- Aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo la carrera relacionados a
 - Desarrollo de software
 - Integración de tecnologías
 - Gestión de proyectos
 - Computación gráfica
- Adquirir experiencia y conocimientos en tecnologías de punta como son:
 - Unity 3D
 - Photoshop
 - MySQL
- Adquirir una metodología propia de gestión de proyectos.
- Generar una plataforma que permita expandirse de acuerdo a las características de diversos tipos de simulación (no sólo en contextos médicos).

2.3 Estructura y contenido de la entrega

A continuación en la siguiente tabla se describe el contenido de la entrega que contiene los archivos de JUSEGU v1.1:

Directorio	Archivo	Descripción
JUSEGU v1.1/Documentación	documento_JUSEGU v1.pdf	Documentación en formato PDF
JUSEGU	documento_JUSEGU	Documentación en formato

v1.1/Documentación	v1.doc	MSWord
JUSEGU v1.1/Linux	jusegu.x86_64	Ejecutable para sistemas Linux con arquitecturas de 32 y 64 bits.
JUSEGU v1.1/Mac	jusegu.app	Ejecutable para utilizar en plataformas OSX
JUSEGU v1.1/Web	jusegu.html	Página para ejecutar el contenedor Unity para web y poder jugar desde cualquier navegador
JUSEGU v1.1/Windows_x86_64	jusegu.exe	Ejecutable para sistemas basados en Windows, en arquitecturas 32 y 64 bits.
JUSEGU v1.1/Sources	sources.txt	Código fuente del proyecto

3 Especificación

En los siguientes puntos se describe el problema que el proyecto intenta resolver y su contexto. Se describen los actores y los destinatarios del resultado (usuarios, clientes y otros involucrados), los principales requerimientos y las principales restricciones que se establecieron para la solución. Finalmente se realiza un relevamiento del estado del arte en este contexto.

3.1 Contexto del problema

El proyecto fue pensado para que sea de utilidad en los hospitales, desde un punto de vista del Uruguay, aunque con la posibilidad de que pueda aplicarse en otros países.

3.2 Actores, tipos de usuarios y necesidades

En el dominio propuesto se identifican los siguientes como los principales actores del ecosistema y algunas de sus principales características son:

Docentes del curso de Seguridad Eléctrica en Hospitales: Son los principales clientes de este emprendimiento. El simulador es una herramienta de formación complementaria a los conceptos impartidos en el curso.

Alumnas y alumnos del curso de Seguridad Eléctrica en Hospitales: Son los usuarios de JUSEGU v1.1.

Gerente del Establecimiento Médico: Este es un posible cliente potencial para utilizar JUSEGU v1.1. Utiliza el proyecto como una herramienta de formación para sus empleados.

De los actores mencionados se buscará dar respuestas a necesidades surgidas en el sector, tanto de docentes de Seguridad Eléctrica en Hospitales como directores de instituciones médicas. Entre las necesidades del usuario en los contextos mencionados se encuentran:

- Muchas veces no hay una manera tangible o visible de transferir un concepto.
- Se desea incorporar en las actividades del estudiante -o del empleado de la institución médica- una metodología de acción frente a distintos situaciones de riesgo de riesgo.

- Además de conocer las metodologías de resolución de situaciones de riesgo eléctrico, también es importante conocer la metodología de prevención.
- En la mayoría de los casos el alumno o el técnico hospitalario no son conscientes de las consecuencias que puede desencadenar algún accidente eléctrico.
- Hay un alto porcentaje de desconocimiento de las distintas circunstancias que determinan una potencial situación de riesgo eléctrico.

Para el gestor del establecimiento médico:

- Es importante que el personal esté capacitado para resolver situaciones de riesgo eléctrico de manera satisfactoria, pero es igual de importante que conozcan la metodología de accionar tras un accidente eléctrico.
- Es fundamental asegurar la manutención responsable y profesional de los distintos equipos biomédicos de la institución.
- Es importante que el técnico realice en forma responsable el mantenimiento de los equipos biomédicos con los que cuenta la institución.
- No se debe exponer a los pacientes y funcionarios del hospital a riesgos de accidente eléctrico.

3.3 Estado del Arte

La necesidad de la simulación por computadora es una realidad que va en aumento en diferentes contextos de la vida cotidiana. Los videojuegos de simulación intentan recrear situaciones de la vida real en un entorno virtual. Estos videojuegos reproducen sensaciones que en realidad no están sucediendo: pretenden reproducir las sensaciones físicas (velocidad, aceleración, percepción del entorno) y dar una experiencia real de algo que no está sucediendo pero que si fuera real, pondría en riesgo la vida de alguien. (Centro de Perfeccionamiento Médico, 1995)

Los primeros simuladores surgieron en los años 1960 (Wikipedia, 2014). Su principal misión era preparar a los pilotos de aviación. Hoy en día se puede decir que estas herramientas son indispensables.

Los simuladores son de hecho pequeños juegos ya que no son reales. La función de los simuladores es aproximarse lo más posible a la realidad. El bajo costo de esta

herramienta de aprendizaje ha simplificado su expansión a la vez que crecen las áreas donde son utilizados. Algunos ejemplos a considerar:

- **Eye Disease Simulator**

Web: <http://shileyeye.ucsd.edu/news-events/62>

Definición: Ubicado en el nuevo Laboratorio de Rendimiento Visual de la UC San Diego, el **Eye Disease Simulator** ocupa toda una habitación. Los conductores se sientan en una cabina real del automóvil Ford Fusion montado sobre una plataforma de movimiento y dan a un paisaje urbano realista con la carretera y el tráfico proyectado en los paneles de pantalla grande que abarcan un campo de 180 grados de vista. Las escenas responden de forma interactiva a los cambios del conductor en la dirección y la velocidad, y permiten evaluar cómo las diferentes afecciones a la vista están afectando al paciente en la conducción de un automóvil (Shiley Eye Center, 2014).



Ilustración 1 - Simulador de conducción San Diego. Los pacientes utilizan el simulador para desplazarse en una ciudad virtual utilizando una cabina de automóvil real (Ford Fusion). Como resultado se pueden apreciar las diferentes afecciones a la vista que afectan durante la conducción del paciente (University of California, San Diego School of Medicine, 2014, cita).

- **Flightgear**

Web: <http://www.flightgear.org/>

Definición: El objetivo del proyecto FlightGear es crear un marco de simulador de vuelo sofisticado y abierto para su uso en la investigación o en ambientes académicos, formación de pilotos, como herramienta de ingeniería de la industria, y por último, pero no menos importante, como una diversión, realista y desafiante simulador de vuelo de escritorio (FlightGear Flight Simulator, 2014).



Ilustración 2 - Simulador en uso, puede apreciarse los comandos y la situación de vuelo (FlightGear Flight Simulator, 2014)

- *FAAC Simulator*

Web: <http://www.faac.com/award.html>

Simuladores de conducción militar de FAAC crean experiencias del mundo real que permiten a los conductores perfeccionar sus habilidades en una variedad de situaciones difíciles. Los conductores pueden obtener una amplia gama de tareas, desde los procedimientos de operación de vehículos básicos hasta entrenamiento táctico basado en situaciones de riesgo de más complejidad para

muchos tipos de vehículos diferentes. FAAC tiene un simulador de conducción para satisfacer sus necesidades de formación. (FAAC Incorporated, 2014)



Por otro lado existen cursos específicos de desarrollo de herramientas virtuales de entrenamiento mediante simulación con videojuegos, tal como se presenta en el siguiente sitio:

<http://www.worldviz.com/products/training-seminars>

Los campos de aplicación van desde la rama automovilística hasta defensa a nivel estatal. Los avances en los dispositivos de entrada virtuales han permitido intensificar la experiencia de los simuladores, con el uso de guantes y cascos virtuales.



Ilustración 3 - El guante virtual, producido con material sintético, permite enviar comandos de manera inalámbrica cada vez que los dedos tocan un objeto (Periféricos de entrada y salida modernos, 2014).



Ilustración 4 - Oculus Rift es un casco de realidad virtual que está siendo desarrollado por Oculus VR. Durante su periodo como compañía independiente, Oculus VR ha invertido 91 millones de dólares para el desarrollo de Oculus Rift (Oculus Rift - Wikipedia).

4 Descripción de la Solución

En esta sección se describe la solución desarrollada que surge a partir del resultado del proceso de relevamiento realizado.

4.1 Descripción funcional del producto

La descripción del sistema desde una perspectiva funcional fue realizada en la búsqueda de una mejor comprensión del lector sobre la solución desarrollada. El diseño de la arquitectura de JUSEGU v1.1 es objeto de otro capítulo. También se describe aquí de manera funcional cada situación de riesgo de riesgo que el jugador deberá resolver para avanzar en el juego.



Ilustración 5 - Uno de los quirófanos del hospital de JUSEGU v1.1

4.2 Menú Principal

El menú principal cuenta con 4 opciones más 1 opción adicional, oculta, sólo para uso docente. Las opciones son:



Ilustración 6 - Menú principal de JUSEGU v1.1

1. Jugar: Inicia una nueva partida.
2. Instrucciones: Muestra las instrucciones de juego. Explica de qué se trata, cómo se puntúa y cuales (por defecto) son las teclas asociadas a los eventos de entrada.
3. Configurar: Permite seleccionar el Idioma del juego (Español, Inglés o Portugués) y el nivel de dificultad (Principiante, Normal, Avanzado).

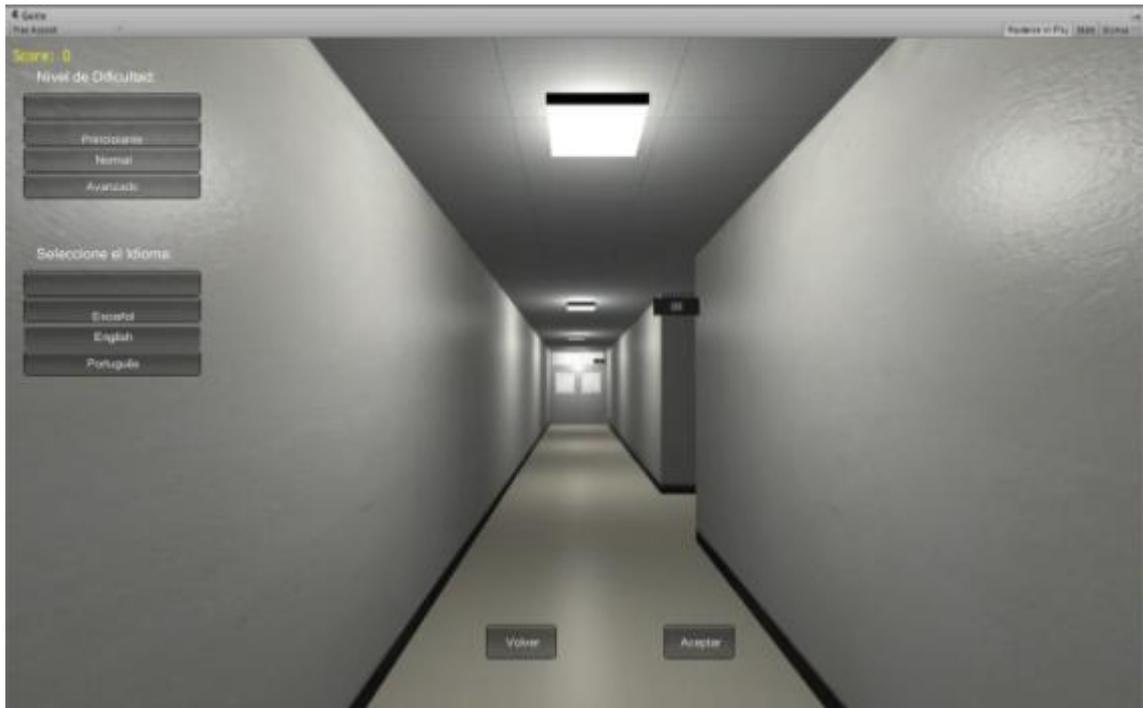


Ilustración 7 - Menú de selección de nivel de dificultad y de idioma.

4. Salir: Devuelve el control al sistema operativo cerrando la aplicación.
5. F12: Presionando la tecla F12 el docente podrá (contraseña mediante) organizar los situaciones de riesgo que desea que aparezcan secuencialmente.



Ilustración 8 - Menú secreto para selección de situaciones de riesgo. Acceso exclusivamente para docentes.

4.3 Pantalla de Instrucciones

Esta pantalla muestra un breve resumen del objetivo del juego, de qué se trata, cómo se puntúa y los medios de entrada por defecto. Las instrucciones son:

“El objetivo del juego es aplicar los conceptos de Seguridad Eléctrica en Hospitales para resolver situaciones de riesgo eléctrico. JUSEGU dispara en forma aleatoria los distintos situaciones de riesgo de riesgo que el jugador intentará resolver.

Existen 2 tipos de situaciones de riesgo de riesgo:

- 1) Situaciones que ponen en riesgo la vida de un paciente o funcionario.*
- 2) Llamados de mantenimiento preventivo y/o correctivo.*

Para cualquier tipo de situacion de riesgo JUSEGU dispara un timer. Si el timer llega a 0 y el situacion de riesgo es de tipo 1 => GAME OVER. En caso que se trate de un situacion de riesgo de tipo 2 se obtienen puntos negativos. En caso que el jugador resuelva satisfactoriamente el situacion de riesgo de riesgo obtendrá puntaje positivo.

Los jugadores puntúan en un ranking centralizado (server-side ranking). Los docentes de la materia 'Seguridad Eléctrica en Hospitales' podrán realizar métricas en base a las jugadas de los alumnos. Los alumnos tienen acceso al ranking de las mejores 15 puntuaciones. Se sugiere al jugador ser precavido y leer detalladamente las instrucciones que encuentre a su paso para evitar puntuaciones negativas o GAMEOVER.

Las puntuaciones posibles son:

- 1. En el caso de cumplir con lo solicitado => +10 ptos. (en modo principiante), +12 ptos. (en modo normal) y +14 ptos. (en modo avanzado).*
- 2. En el caso de no cumplir => -10 ptos. (en modo fácil), -8 ptos. (en modo normal) y -6 ptos. (en modo avanzado).*

Controles por defecto: *W (arriba), S (abajo), A (izquierda), D (derecha), Tab (información), P (volver a menú), Shift (correr), Mouse (mover), Space (saltar)”.*

4.4 Pantalla de Configuración

Tal como se mencionó anteriormente, esta pantalla permite seleccionar el Idioma y el nivel de dificultad.

4.5 Concepto de “Suerte” para el Jugador

Algunas situaciones de riesgo plantean situaciones en las que, si el jugador no puede resolver, se expone al paciente/funcionario a un accidente eléctrico. Pero el accidente como tal podría no ocurrir. Por ejemplo en el situación de riesgo de intercambio de filtro HEPA en el quirófano, si el jugador no pudo cambiar el filtro y el contador llega a 0, se realiza un cálculo para determinar si efectivamente hubo infección en la intervención de hueso o no (en dicho quirófano con un filtro HEPA que no está en condiciones de funcionamiento seguro).

Considerando el valor de suerte del jugador como un porcentaje, comienza el juego con un 40% de suerte. Esto es, cuando el jugador no cumple con lo solicitado y deja expuesto un riesgo de accidente tendrá una probabilidad a favor del 40% (esta es la probabilidad de que el accidente no ocurra). Si el accidente no ocurre, el jugador seguirá en juego pero se descuenta un 10% en su suerte cada vez que haya dejado expuesto un riesgo eléctrico y no se haya producido un accidente.

JUSEGU v1.1 determina (en forma aleatoria) cuándo se produce un accidente luego de que el jugador haya dejado expuesto un riesgo eléctrico.

4.6 Puntuaciones

En cada situación de riesgo de riesgo el jugador podrá recibir puntaje positivo o bien puntaje negativo de acuerdo a su actuación. Estos puntajes están directamente vinculados al nivel de dificultad que esté utilizando el usuario, que a saber son:

1. **Principiante:** Este nivel implica tener tiempos más largos, pero se obtienen puntajes menores y cuando se trata de una resta, el coeficiente negativo es mayor que en el resto de los modos. En particular, por situaciones resueltas se suman 10 puntos y -10 puntos por situaciones fallidas.
2. **Normal:** Este nivel implica tener tiempos predefinidos que se consideran son apropiados para la resolución de cualquier situación de riesgo de riesgo. Por situaciones resueltas se suman 12 puntos y -8 por situaciones sin resolver.
3. **Avanzado:** Este nivel implica tener tiempos muy acotados, sólo para aquellos que sientan que el juego es muy sencillo utilizando el modo normal. De esta manera podrán obtener 14 puntos en caso de resolver el situación de riesgo y -6 en caso de no poder resolverlo. Es imprescindible utilizar este modo para intentar tener puntuaciones máximas en el ranking.

Otra manera de verlo más sencillo es considerar lo siguiente:

1. Todo situación de riesgo aporta 10 puntos o -10 puntos si se resuelve o no respectivamente.
2. En modo principiante no se añaden puntos adicionales => se mantiene 10 y -10.
3. En modo Normal se añade +2 puntos sobre cualquier resultado => 12 y -8
4. En modo Avanzado se añade +4 puntos sobre cualquier resultado => 14 y -6.

4.7 Situaciones de riesgo

A continuación se describe cada situación de riesgo que se presenta en JUSEGU v1.1. Para obtener el detalle del flujo de cada situación de riesgo dirigirse al *Anexo 1: Especificación de situaciones de riesgo de JUSEGU v1.1.*

Los situaciones de riesgo se llevan a cabo en un hospital diseñado exclusivamente para JUSEGU v1.1. Para obtener información adicional del diseño de la estructura y las decisiones de diseño que se llevaron a cabo dirigirse al *Anexo 4: Modelado tridimensional de la estructura del Hospital*.

4.7.1 Reemplazo de Filtros HEPA

En las intervenciones quirúrgicas donde el hueso está expuesto se desea minimizar el riesgo al máximo de infección de cualquier tipo y bajo estas circunstancias los filtros de aire acondicionado tienen que estar en perfecto estado (Normativa producción filtros HEPA/ULPA, 1999). En esta situación de riesgo el jugador deberá cambiar los filtros HEPA (son los más costosos), y también se suelen cambiar los pre-filtros, que son los delanteros y son más económicos.

El jugador será advertido sobre una intervención de hueso un tiempo antes de que empece, donde se fijara el tiempo máximo en el que el jugador deberá reemplazar el filtro (se lanza un cronómetro a partir de la advertencia). Si se agota el timer y el jugador no realizó el intercambio de filtro el juego comunicara el resultado de la intervención quirúrgica (mediante un valor aleatorio). Si no hubo infección, el jugador obtiene puntaje negativo y además se disminuye su porcentaje de suerte. En tal caso el juego mostrará un mensaje indicando el riesgo al que se sometió el paciente por imprudencia del jugador. Si hubo infección se termina el juego (GAME OVER).



Ilustración 9 - Intercambio de filtro HEPA en el quirófano

4.7.2 Reemplazo de Radio Bidireccional (VHF/UHF) en Ambulancia

La radio bidireccional es uno de los elementos más importantes del equipamiento de una ambulancia, ya que permite recibir encargos y puede permitir al equipo ponerse en contacto con el hospital, ya sea para informar de su llegada o del estado del paciente, o bien para solicitar ayuda dependiendo del caso. Más recientemente muchos servicios de todo el mundo han cambiado del UHF/VHF tradicional, que pueden ser espiados por personas ajenas, a sistemas más seguros como los que trabajan sobre un sistema GSM, como TETRA (Corsa Medic, 2010).

Últimamente y en forma frecuente el equipo de servicio de ambulancias ha reportado a la dirección del hospital acerca de bromas pesadas y falsos llamados de emergencia. Los ingenieros de mantenimiento han investigado a fondo el causal de estos problemas y han encontrado que la radio bidireccional de las ambulancias está siendo espiada por terceros. Han ordenado la compra de equipos basados en sistema GSM, los cuales ya se encuentran en el depósito de stock de equipamiento técnico del hospital.

El jugador recibe una alerta de mantenimiento a una ambulancia que acaba de llegar. A partir de este momento, la ambulancia permanecerá durante unos minutos (valor aleatorio, relacionado directamente al valor de suerte del jugador en ese momento) y saldrá nuevamente a atender una emergencia. El jugador deberá tomar un equipo GSM del depósito de stock de equipamiento técnico y dirigirse a la ambulancia a intercambiarlo por el sistema actual basado en UHF/VHF. Si lo hace antes de tiempo obtiene puntaje positivo. En caso contrario, obtendrá puntaje negativo ya que la dirección del hospital ha puesto énfasis en intercambiar los equipos con el objetivo de minimizar gastos causados por bromas o falsas llamadas.



Ilustración 10 - Intercambio de sistema de radio de la ambulancia en el garaje.

4.7.3 Humedades en Quirófano

En esta situación de riesgo el jugador recibe una llamada de pedido de mantenimiento en un quirófano, donde existe una gotera justo encima de la máquina de anestesia. El jugador deberá tomar un recipiente y colocarlo debajo de la gotera, previamente realizando un corrimiento de la máquina de anestesia. El jugador deberá dirigirse al subsuelo para buscar un balde y luego volver para colocarlo debajo de la gotera. Si el timer llega a 0 y el jugador no movió la máquina de anestesia ni puso el balde debajo de la gotera, obtiene puntaje negativo. En otro caso obtiene puntaje positivo.



Ilustración 11 - El jugador coloca un balde debajo de la gotera y desplaza la máquina de anestecia hacia atrás.

4.7.4 Desfibrilador con fecha de Inspección Expirada

Los mantenimientos del desfibrilador son anuales o siempre después de una intervención (Revista uruguaya de cardiología, 2009). En este caso el desfibrilador no está cargado, la fecha de mantenimiento ya pasó más de 1 año. Si hay una situación de emergencia no tiene la carga necesaria para ser efectivo.

En el contexto del juego aparece un mensaje sugiriendo al jugador la revisión de los desfibriladores disponibles en el hospital (hay uno por piso). El jugador deberá dirigirse a la ubicación de cada desfibrilador y revisarlo, si lo hace podrá observar la fecha de revisión expirada (que data desde el año 2013) y tomara las medidas del caso (se ofrecerá la posibilidad de usar la señalización correspondiente, para indicar que el desfibrilador debe ser sometido a mantenimiento correctivo).

Si el timer llega a 0 se determina si ocurre la emergencia. Si efectivamente ocurre el juego termina (GAME OVER). En otro caso, se obtiene puntaje positivo.



Ilustración 12 - Uno de los desfibriladores disponibles en el hospital.

4.7.5 Mantenimiento en Máquina de Anestesia

La máquina de anestesia debe ser revisada sistemáticamente, siguiendo un orden lógico de los componentes de la misma, sin omitir ningún elemento aunque se considere que éste en particular no va a ser utilizado para el acto anestésico a iniciar. Todos los enchufes eléctricos y las conexiones neumáticas deben estar en buen estado, sin riesgos de cortocircuitos, desconexiones o fugas (Departamento de anestesiología de la Universidad Javeriana, 2014).

Un anesesiólogo que se encuentra revisando la máquina de anestesia en el quirófano 'C' detecta una falla en el flujómetro y solicita ayuda. En ese momento se dispara un timer.

El jugador debe dirigirse al quirófano para ayudar al anesesiólogo. Deberá ubicar el flujómetro, acercarse y presionar la tecla 'F' para realizar la reparación. Si el timer llega a 0 y el flujómetro no ha sido reparado, el jugador obtiene puntaje negativo. En caso contrario obtiene puntaje positivo.



Ilustración 13 - El jugador debe ubicar el flujómetro en la máquina de anestecia para proceder a la reparación.

4.7.6 Reemplazo de placas de Electro-bisturí por electrodos

Al utilizar electro-bisturí es recomendable usar electrodos en lugar de placas. Un mal contacto entre el electrodo de retorno y la piel del paciente produce un aumento de la impedancia de contacto. Como consecuencia de lo anterior el paciente recibe quemaduras en la piel, en el punto de contacto. Por esto se recomienda el uso de electrodos en lugar de chapa. Los electrodos son adhesivos, y permiten medir en todo momento la impedancia entre ellos que, al ser elevada por despegue, abre el circuito evitando accidentes y por lo tanto evita el riesgo de quemaduras del paciente (Escuela de Ingeniería Biomédica - Córdoba, 2014).

En la última intervención realizada en el quirófano 'C' el paciente recibió quemaduras provocadas por el electro bisturí. Deberá identificar las placas existentes en el quirófano y desecharlas.

Los electrodos con los que cuenta el hospital se encuentran en el depósito ubicado al final del pasillo del MRI. Deberá proveer de una caja de electrodos descartables nuevos al quirófano 'C' (tomando la caja del depósito correspondiente), y dejarla en el mismo lugar donde se encuentren las placas.

Si el timer llega a 0 y no se hizo el reemplazo, el jugador se expone a un valor aleatorio que determina si hubo infección de hueso en la intervención. Si efectivamente hubo obtendrá GAME OVER, en caso contrario obtendrá puntaje negativo. Si el jugador logra hacer el intercambio a tiempo, obtiene puntaje positivo.



Ilustración 14 - Placas en mal estado producen quemaduras en pacientes. El jugador debe desecharlas.

4.7.7 Situación de Emergencia en el Resonador Magnético.

En situaciones de emergencia y peligro de vida frente a accidentes con el resonador, existe la posibilidad de interrumpir el suministro eléctrico y por otro lado, es posible interrumpir el proceso de superconductividad que genera el magneto mediante un interruptor llamado 'Pulsador de Quench' (Geido, 2014).

Este interruptor acciona una válvula que libera helio líquido del resonador hacia la atmósfera, anulando de esta manera el poder de atracción de objetos metálicos. Una enfermera estacionó una silla de ruedas en la puerta del resonador y ésta fue atraída por el magneto, poniendo en riesgo la vida del paciente que está realizándose una resonancia.

Deberá aplicar sus conocimientos e identificar cuál es el pulsador de Quench para salvar la vida del paciente. Si el timer llega a 0 y no logró presionar el pulsador de Quench, será GAME OVER por asfixia del paciente que está siendo presionado por la silla de ruedas. En caso contrario, se obtendrá puntaje positivo.

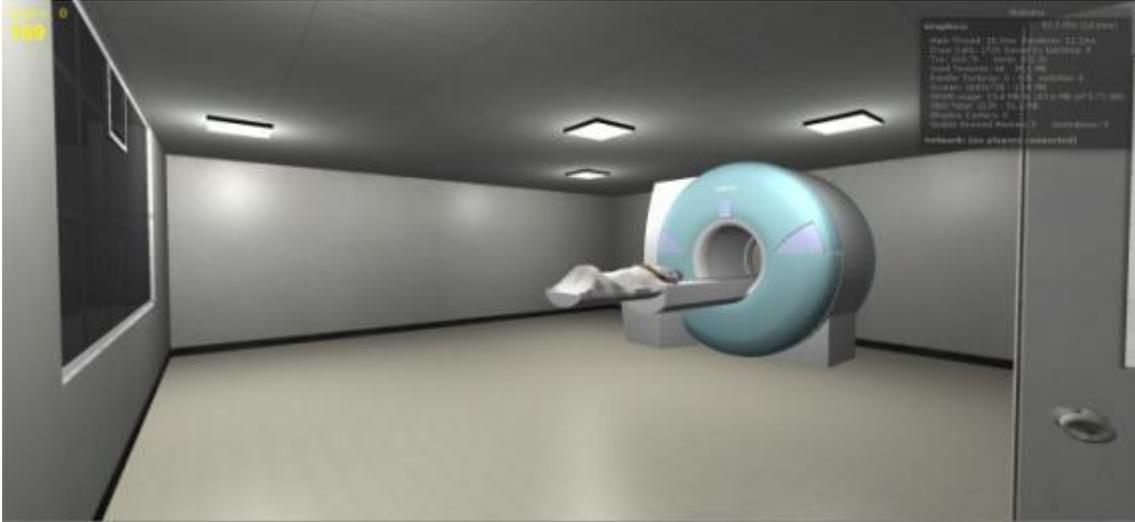


Ilustración 15 – Momentos previos al accidente el paciente se somete a una resonancia magnética.

4.7.8 Derrame de residuos patogénicos.

Las bolsas de residuos pueden ocasionar accidentes eléctricos si no se manipulan de manera apropiada, sobre todo cuando las mismas derraman líquidos (Trasvase de agentes químicos: Medidas básicas de seguridad, 2007). Como primera medida, las bolsas deberían acopiarse en recipientes plásticos para que efectivamente se contenga el derrame. En segunda medida los tomacorrientes en los lugares de acopio de residuos y en diversos sectores que generen derrames, deben tener una distancia mayor de 30cm del suelo para que ni las bolsas ni los fluidos puedan entrar en contacto con estructuras bajo tensión.

Durante el juego mientras el jugador realiza las tareas de mantenimiento, la basura se irá acumulando en el lugar apropiado para ello en la despensa. Sin embargo, ciertas bolsas de basura están derramando líquidos que están poniendo en riesgo al personal de limpieza de un accidente eléctrico, ya que la despensa cuenta con una instalación eléctrica deficiente (tal como se mencionó anteriormente) que no cumple con todas las normativas. Los tomacorrientes se encuentran a pocos centímetros del suelo.

Se le avisa al jugador que el tomacorriente cercano a las bolsas de residuos patogénicos está en cortocircuito, por lo que deberá bajar la llave térmica asociada a dicho tomacorriente (podrá identificar al tomacorriente por un identificador aleatorio que se asigna al mismo en cada jugada). Si el timer llega a 0 y no pudo bajar la llave obtiene puntaje negativo. Si por el contrario pudo bajar la llave obtendrá puntaje positivo.



Ilustración 16 - Residuos patogénicos provocan una situación de riesgo por derrame de líquidos.

4.7.9 Macroshock

En una de las salas del Primer piso un técnico (un tanto imprudente) realiza un electrocardiograma (ECG) a un paciente.

El técnico ha conectado el pie del paciente al metal de la cama para reducir el ruido del equipo biomédico. La hermana del paciente (quien está a cargo de cuidarlo) intenta sintonizar la radio conectada a 220v.

Sin que ella lo sepa, la radio tiene una falla en la descarga a tierra. Cuando el contador llegue a 0 la hermana rozará al paciente. Para evitarlo ubique el situación de riesgo de riesgo y acérquese a la hermana del paciente. Si el contador llega a 0 se producirá el accidente y obtendremos GAME OVER. En caso contrario se obtiene puntaje positivo.



Ilustración 17 - La radio está exponiendo al paciente a un riesgo eléctrico que le costará la vida.

4.7.10 Microshock

En una de las salas del Primer piso se encuentra un paciente conectado a un marcapasos externo mediante 2 catéteres.

El operador del marcapasos se encuentra sentado a su lado operando el equipo biomédico. La conexión de la cama al tomacorriente tiene el cable defectuoso y la conexión a tierra fallará cuando el timer llegue a 0.

Deberá solicitar al operador que detenga el marcapasos. Para ello acérquese al operador y presione la tecla 'H' para darle la orden de que detenga el equipo biomédico. Si el contador llega a 0 y el equipo biomédico no ha sido detenido, se produce electrocución y se obtiene GAME OVER. En caso contrario se obtiene puntaje positivo.



Ilustración 18 - Paciente recibiendo microshock.

4.7.11 Señalización deficiente pone en riesgo a una niña

En el hall principal del hospital una niña se acerca a un tomacorriente defectuoso que ya ha sido revisado por representantes del departamento técnico, pero no ha sido reparado aún. El jugador deberá mejorar la señalización para evitar un accidente eléctrico. Para ello puede tomar una barrera de protección del depósito y colocarla en frente del tomacorriente defectuoso. Si el timer llega a 0 la niña se acercará al tomacorriente y quedará electrocutada, en este caso se obtendrá GAME OVER. En caso contrario se obtiene puntaje positivo.



Ilustración 19 - Una niña está a punto de sufrir un accidente eléctrico a causa de una mala señalización en un tomacorriente defectuoso.

4.7.12 Electrocutación en baño masculino

En los baños masculinos un encargado de limpieza comienza a experimentar una electrocución con un tomacorriente en mal estado. Tomar la decisión correcta implica salvarle la vida a esta persona. Puede considerar identificar el tomacorriente y bajar la llave térmica correspondiente desde el tablero. Tiene poco tiempo. Si el contador llega a 0 y no bajó la llave térmica se produce GAME OVER ya que el funcionario fallece en el acto. En otro caso se obtiene puntaje positivo.



Ilustración 20 - Un encargado de limpieza ha sufrido una electrocución con un tomacorriente en mal estado.

4.7.13 Riesgo en el Resonador: Tanque de Oxígeno en la puerta.

Un técnico que no ha realizado el curso de Seguridad Eléctrica en Hospitales, ha dejado en la puerta del resonador magnético un tanque de oxígeno a la espera de ser trasladado hacia los quirófanos.

Un empleado de limpieza está limpiando el pasillo y ha salido a buscar una botella de detergente para la limpieza. Al volver necesita abrir la puerta del magneto, lo cual provocará un accidente fatal con el tanque de oxígeno (ya que un paciente se está haciendo una resonancia).

Deberá detener al empleado de limpieza de manera que no se dirija hacia la puerta del resonador. Si no logra detenerlo el resonador atraerá el tanque de oxígeno cuando el empleado de limpieza intente abrir la puerta. En tal caso obtendrá GAME OVER automáticamente, en caso contrario obtendrá puntaje positivo.



Ilustración 21 - Un paciente ha sido víctima de una explosión en el resonador. Un tanque de oxígeno estaba en el borde de la puerta del resonador minutos antes de la explosión.

4.7.14 Cortocircuito en la Cafetería

Se ha producido un cortocircuito en el microondas de la cocina, provocando un incendio. Se lanza un timer a posterior de que JUSEGU v1.1 avisa de tal situación.

El jugador tiene que extinguir las llamas antes de que alcancen la garrafa que se encuentra debajo de la mesada.

Si pasa el tiempo y el fuego persiste, la garrafa explotará. El jugador deberá considerar el uso de uno de los extinguidores disponibles en el hospital.



Ilustración 22 - Un cortocircuito en el microondas desencadena un incendio en la cafetería.

4.7.15 Generador con depósitos sin combustible

El motor del generador eléctrico del hospital funciona con diesel y este puede agotarse de los depósitos. Es una tarea de mantenimiento revisar los depósitos de combustible para evitar riesgos bajo un apagón eléctrico.

En el contexto del juego un paciente está en el quirófano y sus parientes conversan y miran TV mientras esperan el resultado de la cirugía. Cuando el jugador ingresa a esa sala de espera se produce un apagón, se muestra un mensaje indicando que los depósitos de combustible del generador están vacíos, y el jugador tiene que dirigirse urgentemente al sótano a cargar diesel en los depósitos. Además, en ese instante se lanza un cronometro de 2 minutos (porque el arranque del grupo electrógeno es de 2 minutos) para que el jugador resuelva el inconveniente.

Al llegar al sótano, encontrará bidones de combustible y un interruptor iluminado que enciende el motor luego de cargar el combustible en los depósitos indicados. Si se agota el tiempo y no se llenaron los depósitos, el juego habrá terminado (GAME OVER).

Se sugiere al jugador ser precavido con las etiquetas de los envases que encuentra en el subsuelo.

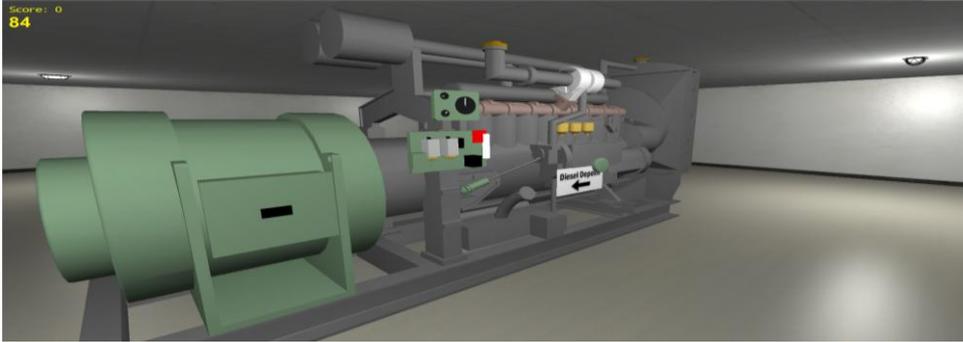


Ilustración 23 - El generador tiene los depósitos de combustible vacíos.

4.8 Server-Side Ranking

JUSEGU v1.1 cuenta con lo que llamamos “server-side ranking” (Server Side Highscores, 2013) que consiste en un ranking centralizado donde todos los estudiantes del curso podrán ver desde sus casas el resultado de las partidas de sus compañeros, lo cual los motivará a superarse cada vez más para lograr las posiciones más privilegiadas.

Por defecto JUSEGU v1.1 muestra las 15 mejores puntuaciones, ordenadas de mayor a menor, lo que implica que el alumno que mejor aplica los conocimientos del curso en el juego estará en la primera posición.

Este ranking centralizado para alumnos y docentes permite al grupo docente realizar métricas de por ejemplo qué estudiantes están logrando mejores resultados, y qué estudiantes necesitan más apoyo.

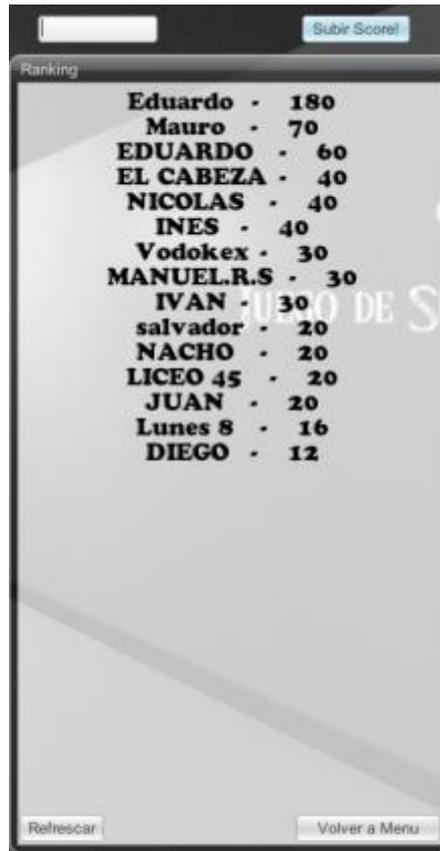


Ilustración 24 - Ranking de puntuaciones

5 Proyecto

En la siguiente sección se detalla el proceso de desarrollo describiendo: el ciclo de vida, el proceso definido, la gestión del proyecto, ingeniería de requerimientos, diseño arquitectónico, aseguramiento de la calidad y la gestión de la configuración.

5.1 Proceso y ciclo de vida

El modelo de ciclo de vida elegido fue *espiral* mientras que el ciclo de vida instanciado fue incremental ya que permite los siguientes beneficios:

- Ordena el proceso de desarrollo.
- Asegura mojones de revisión.
- Permite planificar el control y seguimiento.
- Minimiza riesgos tecnológicos.
- Liberaciones parciales (prototipos) para retroalimentar cambios a partir de la opinión del docente.
- La arquitectura permanece estable.

5.2 Metodologías de referencia

5.2.1 Guía del PMBOK

La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos, conocida como la “*Guía del PMBOK*” (Fundamentos de la Dirección de Proyectos, 2004), es un conjunto de conocimientos, procesos, habilidades, herramientas y técnicas de la dirección de proyectos que son aplicables a la mayoría de los proyectos y existe un consenso sobre su valor y utilidad. También está considerado que la aplicación de estos fundamentos aumentan las posibilidades de éxito de una amplia variedad de proyectos aunque esto no significa que deban aplicarse de la misma manera en todas las circunstancias. El equipo de dirección del proyecto es el responsable de establecer lo que es apropiado para cada

proyecto en concreto. Esta guía también proporciona y promueve un vocabulario común para el uso y la aplicación de los conceptos de la dirección de proyectos.

De lo anteriormente expresado se desprende que la guía del PMBOK es una norma, un estándar, un vocabulario común y un compendio de buenas prácticas. El mismo no es una metodología, una receta universal o infalible. También se denota que estos fundamentos pueden ser implementados de múltiples maneras a través de diferentes herramientas y metodologías. Esta guía comprende dos grandes secciones, una sección de procesos y contextos de un proyecto y otra sección de áreas de conocimiento específicos para la gestión de un proyecto (Fundamentos de la Dirección de Proyectos, 2004).



Ilustración 25 - Esquema básico del proceso PMBOK

En el modelo propuesto, se pueden identificar 5 grupos de procesos que son: los procesos de inicio, los de planificación, los de ejecución, los de monitoreo y control y los de cierre. También (en la quinta versión de la guía) se pueden identificar 10 áreas de conocimiento que son:

1. Gestión de la Integración del Proyecto
2. Gestión del Alcance del Proyecto.
3. Gestión del Tiempo del Proyecto.
4. Gestión de los Costos del Proyecto.
5. Gestión de la Calidad del Proyecto.
6. Gestión de los Recursos Humanos del Proyecto.

7. Gestión de los Recursos de Comunicación del Proyecto.
8. Gestión de los Riesgos del Proyecto.
9. Gestión de las Adquisiciones del Proyecto
10. Gestión de los Interesados del Proyecto

De los grupos de procesos y las áreas de conocimientos, se utilizaron los procesos de inicio, planificación, ejecución, control y cierre de las áreas de Gestión de Riesgos del Proyecto.

5.3 Gestión de riesgos y planificación

Para el proceso se optó por seguir el que define en el PMBOK ya que el mismo propone un enfoque predictivo que me permitió tomar acciones antes de que se materializaran ciertos riesgos críticos.

El proceso desarrollado está compuesto por las siguientes actividades: Planificación de Riesgos, Identificación de Riesgos, Análisis Cualitativo de Riesgos, Análisis Cuantitativo de Riesgos, Planificación de Respuesta a los Riesgos y Monitoreo y Control de los Riesgos. Se tomaron todas con excepción del Análisis Cuantitativo de Riesgo ya que con el Análisis Cualitativo se consideró suficiente para priorizar los riesgos.

5.4 Principales riesgos del proyecto

En esta sección se describen los riesgos tratados que fueron fundamentales para el suceso del proyecto. Para estos se muestra y explica la evolución de su magnitud (calculada como probabilidad por impacto), los planes de respuesta y contingencia y las métricas que se utilizaron.

Riesgo 1: Gráficos de baja calidad, entorno poco fiel a la realidad

- **Efecto de ocurrencia:** El riesgo trata sobre la posibilidad de no lograr que el jugador realmente sienta que está en un hospital. Si se hubiese dado, tendría un impacto muy negativo en la adopción del simulador, resultando en un producto poco útil para el alumno y el docente.
- **Métricas utilizadas:**

- Se presenta el juego a un total de 25 personas (de hecho se utilizó el feedback de cada jugador que participó del evento de Ingeniería de Muestra), a las que se le pregunta acerca de qué tan fiel a la realidad es el entorno de JUSEGU v1.1. Se obtuvo un total de 96% de respuestas positivas.
- Se le presenta el simulador a por lo menos 20 personas que formen parte del público objetivo (estudiante entre 18 y 26 años), se les explica qué es el simulador a grandes rasgos y se les presentan las funcionalidades. Luego se les pide que intenten resolver una situación de riesgo sin ayuda. En esta población de jóvenes universitarios (visitantes de Ingeniería de Muestra 2014) al menos 80% de las personas logró resolver la situación de riesgo sin ayuda y dentro de los parámetros de tiempo “Normal”.
- **Impacto y probabilidad de ocurrencia:** Dado el efecto de ocurrencia, se consideró que su impacto era crítico, y como al inicio del proyecto no se poseía experiencia en construcción de situaciones de riesgo hospitalarios, se consideró altamente probable su ocurrencia calificada en un 20%. Esta cifra surge de la realización de 5 prototipos de modelos (silla, mesa, tetera, lámpara y televisor) realizados en la etapa previa a la inicialización del proyecto. En base a estos modelos se obtenían opiniones de 4 personas ajenas al entorno del proyecto, acerca de las características de los modelos y qué tan fiel a la realidad estaban cada uno de ellos. De acuerdo a los resultados se obtuvo que uno de los modelos (la silla) no era fiel a la realidad (1/5).
- **Plan de respuesta:** Se tomó como plan de respuesta realizar *benchmarking* con juegos para diferentes plataformas, con contextos hospitalarios tales como *Theme Hospital*, se hizo un análisis exhaustivo de hospitales reales, planos y disposición de salas acordes, se intentó simular el entorno utilizando texturas extraídas de materiales reales (paredes de yeso, cielorrasos de yeso, pisos de hormigón pulido, zócalos pintados, cartelería).
- **Disparador y plan de contingencia:** Como condición del disparador se tomó que en 2 instancias de inspección consecutivas, no se logre cumplir con las métricas de calidad para asociar el entorno del hospital de JUSEGU v1.1 con un hospital de la realidad. Asociado a esto, como plan de contingencia, se definió que eventualmente se podría consultar un diseñador.
- **Disparador y plan de contingencia:** Como condición del disparador asociado a este se tomó que un situación de riesgo luego de ser desarrollado no pudiese ser validado durante más de 2 semanas. El plan de contingencia fue validar las situaciones de riesgo en conjunto, previo a la construcción detallada de cada uno.

Riesgo 2: Falta de conocimiento en las tecnologías

- **Efecto de ocurrencia:** De carecer de conocimiento de la tecnología a utilizar al momento de implementar los situaciones de riesgo, se podría dificultar o incluso no lograr su desarrollo. Esto podría causar que no se alcance lo planteado al comienzo del proyecto, causando disconformidades y la necesidad de corregir el atraso en la próxima iteración.
- **Impacto y probabilidad de ocurrencia al inicio del proyecto:** Teniendo en cuenta el efecto de ocurrencia se determinó que su impacto sería crítico. La probabilidad de ocurrencia quedó determinada por la experiencia previa en las tecnologías a utilizar, que es de un 25% (ya había conocimientos previos en al menos un cuarto de las funcionalidades del motor Unity3D).
 - Motor Gráfico Unity 3D u otro acorde para llevar a cabo los requerimientos.
 - Edición de texturas (en cualquier software).
 - Modelado y animación de modelos 3D.
 - Programación en C# para Unity 3D.
- **Métrica aplicada:** Cantidad de horas dedicadas a capacitación y pruebas de concepto.
- **Plan de respuesta:** Realizar un análisis previo a la elección de una tecnología y planificar sesiones de capacitación con un tiempo predefinido.
- **Plan de contingencia y disparador:** Como disparador se tomó el hecho de estar más de 1 semana sin tener definido qué motor gráfico utilizar o qué software para edición de texturas y modelado utilizar. Asociado a éste, el plan de contingencia fue buscar y consultar a expertos en la tecnología de los juegos en la cual se tiene problemas. Aquí destaco también la colaboración del equipo del departamento de videojuegos de la universidad de FEEVALE quienes me brindaron sus punto de vista y objeciones en su momento.

5.4.1 Conclusiones

Se logró una gestión de riesgos adecuada para el proyecto ya que:

- Se mitigaron los riesgos más importantes para el éxito del mismo con los planes de respuesta definidos.

- Cuando se manifestó algún riesgo, el plan de contingencia a seguir no permitió que se convirtiera en un problema.

5.5 Relevamiento de requerimientos

5.5.1 Justificación de la estrategia de relevamiento

El relevamiento se realizó priorizando el entendimiento del dominio. Se relevan los requerimientos consultando a Franco Simini y otros docentes del NIB quienes brindaron sus aportes y puntos de vista. Se complementó la información con búsquedas y benchmarking de otros juegos como Theme Hospital, para retroalimentar el relevamiento inicial.

5.5.2 Técnicas de relevamiento y resultados de investigación

En esta sección se describen las técnicas de relevamiento utilizadas como implementación de la estrategia elegida. Las técnicas utilizadas fueron las siguientes:

- **Entrevistas personales:** Se realizaron encuestas personales a expertos en el dominio (en el NIB). En el caso de los usuarios finales se recurrió a personas que nada tienen que ver con contextos hospitalarios pero sí aportan en cuanto a observación, empatía y creatividad para generar las distintas situaciones de riesgo poniéndose en el lugar del jugador.
- **Investigación documental:** Se realizó una investigación de planos de hospitales (ver *Anexo 2: Investigación y selección del motor gráfico a utilizar*) así como estadísticas de accidentes eléctricos y probabilidades de ocurrencia para desarrollar (en base a estos datos) la suerte del jugador.
- **Benchmarking:** Se investigaron sitios web de empresas dedicadas al desarrollo de simuladores en diferentes contextos y que en lo posible hicieran foco en la interacción con los usuarios mediante la captura de opiniones y la generación de comunidades virtuales. Aquí citas de sitios de la competencia

5.6 Arquitectura

El diseño de la solución contempló la especificación de los componentes de software del juego y las relaciones entre ellos de acuerdo a los requerimientos funcionales y no funcionales que surgen de la etapa de relevamiento que se detalla en la sección anterior. Además de estos requerimientos funcionales y no funcionales, las tecnologías seleccionadas y las decisiones de diseño tomadas se basaron en la experiencia previa y el estado del arte al momento de llevar a cabo el proyecto.

El proceso de arquitectura en el que se basa JUSEGU v1.1 es el descrito en el libro *Software Architecture in Practice, Second Edition* (Bass, 2003) e involucró los siguientes pasos en donde se tuvieron en cuenta recomendaciones tanto para el proceso como para el juego a construir:

1. Comprender los requerimientos

Como rol de arquitecto debía tener claros los requerimientos funcionales del juego y una lista priorizada de atributos de calidad que la arquitectura debería satisfacer.

2. Crear y seleccionar la arquitectura

Los atributos de calidad debían alcanzarse utilizando tácticas de arquitectura conocidas para cada uno de ellos. Además de tomar las decisiones necesarias para cumplir los requerimientos, se debía definir una arquitectura que permitiera la implementación incremental creando primero un esqueleto del juego y a partir de allí construir las funcionalidades para que crezca de forma incremental facilitando la integración y las pruebas. Finalmente se debía documentar la misma con una notación conocida para los interesados de modo que pueda ser comprendida y difundida fácilmente.

3. Comunicar la arquitectura

En este punto se hizo énfasis en comentarios en el código e indicaciones donde fuese necesario.

4. Analizar y evaluar la arquitectura

Asegurar que la arquitectura a construir pudiese ser analizada para poder obtener medidas cuantitativas y evaluarse formalmente. Así como definir las mediciones a tomar en la etapa de validación.

5. Implementar basado en esa arquitectura

Desarrollar siguiendo los lineamientos planteados y definidos. Esto involucró además tener módulos bien definidos en cuanto a las responsabilidades funcionales basados en principios de encapsulamiento y separación de

responsabilidades. Adicionalmente cada módulo debía tener sus interfaces bien definidas y encapsular aspectos que pudiesen cambiar para reducir el impacto de otros módulos que utilicen sus servicios.

6. Validar la arquitectura

Realizar las verificaciones correspondientes y definidas previamente para asegurar que se cumplieron los requerimientos planteados en un inicio.

5.6.1 Características de calidad consideradas

Dentro de las características de calidad evaluadas en el proyecto se detectaron requerimientos no funcionales a cumplir (ver sección anterior). Todas las decisiones de diseño realizadas tomaron en cuenta dichos requerimientos y el objetivo de construir un juego de nivel AAA (Wikipedia AAA -Game Industry-, 2014). Los requerimientos **no funcionales** relevantes del proyecto se describen a continuación en orden de importancia:

Escalabilidad

El núcleo de JUSEGU v1.1 puede adaptarse a otro tipo de proyectos de simulación, no necesariamente en contextos hospitalarios. Esto gracias al desarrollo de una arquitectura escalable que permite tanto la expansión de la capacidad de simulación actual así como en otros contextos con el menor esfuerzo posible.

Integración

JUSEGU v1.1 no tiene restricciones en cuanto a integrarse con otro tipo de programas. E incluso en un futuro puede enriquecerse la experiencia del usuario final añadiendo dispositivos de entrada no tradicionales como un casco de realidad virtual.

Robustez

Se tuvo en cuenta en todo momento el factor robustez, haciendo consideraciones para nunca perder este foco. En todo momento se tomaron decisiones en pro de mantener la confiabilidad y disponibilidad del juego.

5.6.2 Aspectos principales de la Arquitectura

A continuación se muestran las relaciones más relevantes del núcleo de la arquitectura de JUSEGU v1.1.

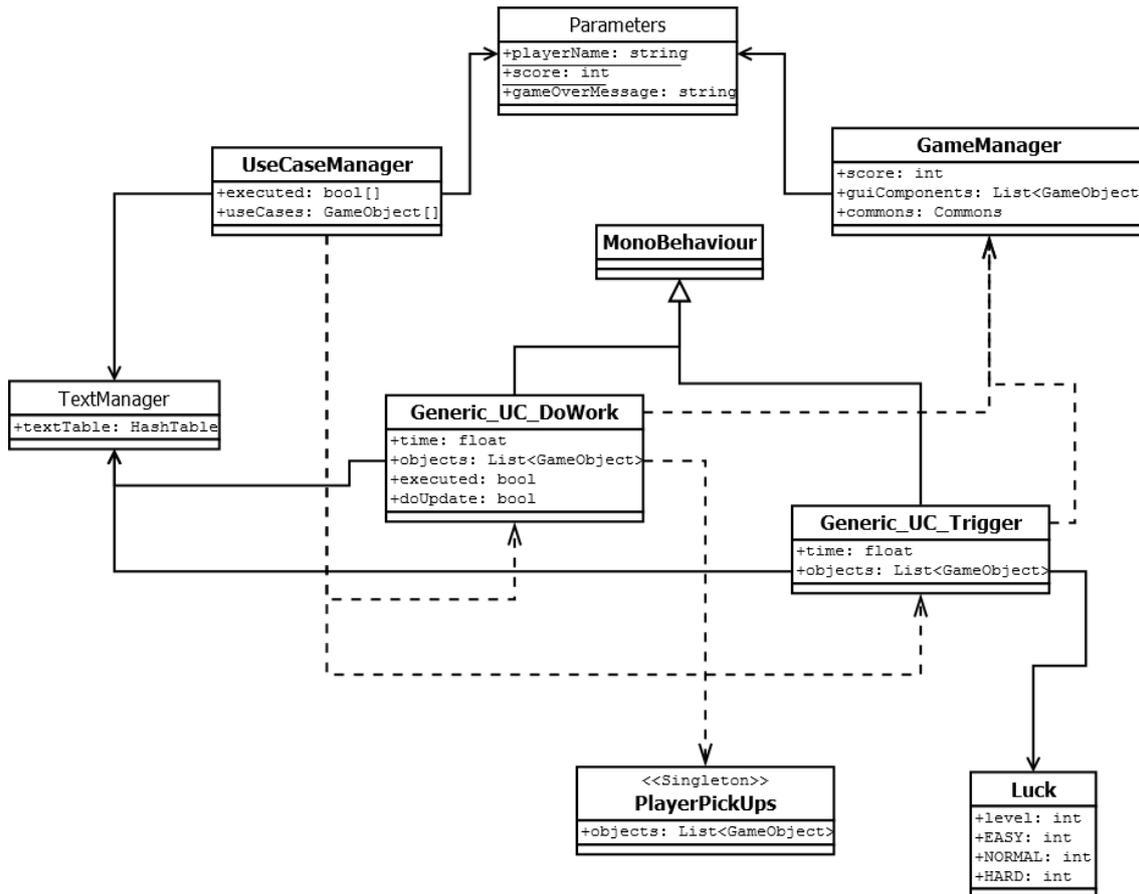


Ilustración 26 - Aspectos relevantes del core de la arquitectura.

Se describe brevemente los cometidos de cada entidad:

Parameters: esta clase representa el transporte de datos entre la escena del juego y la escena de GAME OVER.

UseCaseManager: una de las principales entidades. Almacena la colección de casos de uso con un vector que indica cuáles se han ejecutado. Tiene la responsabilidad de gestionar la dinámica del juego, dispara aleatoriamente cada situación de riesgo y gestiona los resultados de la ejecución del mismo.

TextManager: manejador de carga y gestión de textos. Utiliza archivos para la internacionalización.

Generic_UC_DoWork y **Generic_UC_Trigger:** representación genérica de la lógica de un caso de uso. Cada situación de riesgo tiene asociado un componente que, mientras el jugador intenta resolver la situación de riesgo, controla el tiempo y las condiciones del situación de riesgo (este componente es el Trigger, representado como Generic_UC_Trigger). Otro componente (Generic_UC_DoWork) controla la actividad del jugador, reproduciendo sonidos, animaciones, sugerencias, etc.

MonoBehaviour: Componente del core del engine Unity. Se agrega en este extracto para indicar que `Generic_UC_DoWork` y `Generic_UC_Trigger` tienen comportamiento dentro de cada situación de riesgo.

PlayerPickUps: Clase que gestiona aquellos ítems recogidos por el jugador. Contiene un vector ordenado por tag (identificador de un `GameObject`) para gestionar en forma sencilla los objetos con los que interactúa el jugador en cada situación de riesgo.

GameManager: Gestiona la interacción con el jugador en cada situación de riesgo. Mantiene el puntaje acumulado así como los componentes de UI necesarios para comunicarse con el jugador.

Luck: Entidad encargada de gestionar la suerte del jugador.

5.6.3 Herramientas y ambientes utilizados para el desarrollo

- Lenguaje: C#
- IDE: MonoDevelop
- Base de datos: MySQL/phpMyAdmin
- Motor Gráfico: Unity 3D (Free Edition)
- Editor de Texturas: Photoshop CS 6
- Modelado y animaciones: Blender + Maya
- Hosting para ranking: hostinger

Para obtener mayor detalle de las decisiones llevadas a cabo en cuanto a la elección del motor gráfico a utilizar dirigirse a los siguientes anexos:

- *Anexo 2: Investigación y selección del motor gráfico a utilizar*
- *Anexo 3: Estadía en la Universidad FEEVALE, Novo Hamburgo, Brasil.*

5.7 Gestión de la configuración

5.7.1 Introducción y definiciones

En el presente capítulo se presenta el plan y la gestión realizada sobre los elementos de configuración de software con el objetivo de asegurar la consistencia y la disponibilidad de los productos generados a lo largo del proyecto.

Se hizo hincapié en las siguientes definiciones de SCM para la definir el rol (a pesar de ser una única persona en el proyecto) y las tareas relacionadas con esta área.

Definiciones

ISO/IEC 12207: “Es el proceso de aplicar procedimientos técnicos y administrativos a lo largo del ciclo de vida, para: identificar, definir las piezas de software; controlar modificaciones y versiones de estas piezas; registrar y reportar el estado de cada pieza y la solicitudes de modificaciones; asegurar la completitud, consistencia y correctitud de las piezas de software; y controlar el almacenamiento, manipulación y entrega de los productos de software”.

Pressman: “La gestión de configuración del software es un conjunto de actividades que se han desarrollado para gestionar el cambio a lo largo del ciclo de vida del software. La SCM se considera como una actividad de aseguramiento de la calidad que se aplica a lo largo del proceso respectivo.

Rol de SCM:

- Seleccionar los repositorios adecuados, definir las estructuras necesarias y mantener el orden de los mismos
- Controlar los cambios sobre los elementos de configuración
- Verificar el uso de las versiones acordadas de las distintas herramientas de desarrollo
- Unificar la nomenclatura y estándares utilizados tanto para el código como para los documentos

Conclusiones

En esta sección se presenta una evaluación de los productos resultantes del proyecto y las conclusiones del trabajo realizado. También se comenta las lecciones aprendidas durante el proyecto y las líneas de trabajo para el futuro. En el *Anexo 5: Planilla de horas* se detallan las actividades y el tiempo insumido de cada una a lo largo de la realización del proyecto.

5.8 Aspectos funcionales de JUSEGU

5.8.1 Descripción

Los componentes del producto resultante son:

- Un simulador como herramienta de formación complementaria al curso de Seguridad Eléctrica en Hospitales.
- Una base de datos centralizada con los datos de las puntuaciones de las diferentes jugadas de estudiantes y docentes.

Además alineados con los objetivos planteados el simulador desarrollado cuenta con las características que se mencionan a continuación:

- **JUSEGU v1.1 apoya el teórico impartido en las clases del curso de Seguridad Eléctrica en Hospitales**
- **Genera un vínculo adicional entre estudiantes con afán de intercambiar trucos, jugadas, resolución de problemas y caminos que serán de utilidad para asimilar los conceptos de clase.**
- **La simulación que ofrece brinda a los estudiantes una mejora en su experiencia como alumnos del curso.**
- **Se logra una plataforma de simulación aplicable más allá de contextos médicos.**

5.9 Conclusiones del proyecto

Como principal conclusión se puede decir que se pudo cumplir con los objetivos propuestos tanto para el juego como para el proyecto.

También es importante resaltar los siguientes puntos:

5.9.1 Conclusiones sobre la ingeniería de requerimientos

Basado en el uso de múltiples técnicas de requerimientos adquiridas durante la carrera se logró modelar, analizar y comprender un dominio que era desconocido.

También fue muy importante el relevamiento realizado con expertos del dominio y las entrevistas con docentes del NIB. Estas actividades sirvieron para poner a prueba la idea, lo que permitió refinar la visión de todo el juego. Permitted además validar que todo el entorno estuviera conforme con el producto final.

Por otra parte, el uso de los prototipos y liberación de videos con avances para el desarrollo del entorno ayudó a validar fácilmente las funcionalidades a desarrollar con los usuarios finales y/o expertos en el dominio.

En vista de los puntos mostrados, considero que he adquirido una experiencia muy rica y valiosa a la hora de desarrollar mecanismos relacionados a la ingeniería de requerimientos.

5.9.2 Conclusiones sobre el uso de tecnologías

Durante la realización del proyecto desarrollé nuevos conocimientos en tecnología logrando los siguientes resultados:

- Desarrollo de conocimiento y experiencia en el manejo de la plataforma Unity3D lo cual genera una base de aprendizaje para el futuro.
- Conocimientos de animaciones y modelado 3D que serán un impulso muy ventajoso en el futuro al momento de desarrollar aplicaciones 3D o entornos de simulación virtual.
- Desarrollo de nuevos conocimientos en el uso de server-side databases (MySQL).

Por otra parte se puede indicar que el análisis de tecnologías a utilizar, realizado en la primera fase fue exitoso debido a que todas las tecnologías utilizadas pudieron responder a los requisitos que tenían asignados.

Teniendo en cuenta los puntos mencionados se puede señalar que se ha adquirido conocimientos en tecnologías de punta posibilitando el desarrollo de nuevos productos en el futuro.

5.9.3 Conclusiones sobre la gestión del proyecto

A la luz de los resultados se puede indicar que si bien la adaptación de algunos conceptos del PMBOK fue compleja, el resultado obtenido de dicha adaptación fue muy bueno. Se lograron mantener los requerimientos con una estabilidad aceptable, se pudo asegurar la consecución de los alcances intermedios para minimizar riesgos y re trabajo.

También es importante señalar que el marcado de objetivos intermedios durante el proyecto facilitó medir el avance del mismo en el correr del tiempo, además de elevar la moral de la mano de la consecución de estos hitos.

Teniendo en cuenta el punto anterior, podemos indicar que la gestión del alcance realizada fue exitosa. Desde el primer momento se aclaró cuál debía ser el propósito del producto y luego se marcaron los entregables intermedios alineados a ese objetivo. Si bien se hicieron modificaciones a dicho alcance, el mismo siempre cumplió con las premisas marcadas y siempre fue del agrado del usuario final.

También se considera que la gestión de riesgos fue exitosa porque a pesar de que algunos de los riesgos identificados ocurrieron, los planes de respuesta se accionaron correctamente logrando el efecto planificado.

Por otra parte se considera que la gestión de la calidad en el proyecto también fue buena porque se pudo controlar el proceso de desarrollo. Por otra parte el ciclo de mejora continua permitió desarrollar un proceso en el cual se trabajó cómodamente y de una manera eficiente.

Finalmente se puede indicar que he adquirido experiencia en gestión de proyectos desarrollando una metodología propia y personalizada de gestión de proyectos adaptando conceptos de la guía del PMBOK y técnicas de resolución de conflictos.

6 Glosario

AAA: en la industria de los videojuegos, AAA (pronunciado "triple A") es un término de clasificación utilizado para los juegos con los presupuestos de desarrollo más altos y niveles de promoción. Por lo tanto, se espera que sea un juego de alta calidad y de estar entre los más vendidos del año (Wikipedia AAA -Game Industry-, 2014).

Benchmarking: proceso sistemático y continuo para evaluar comparativamente los productos, servicios y procesos de trabajo en organizaciones (Wikipedia - Benchmarking, 2014).

Desarrollo en Espiral: el desarrollo en espiral es un modelo de ciclo de vida del software definido por primera vez por Barry Boehm en 1986,1 utilizado generalmente en la Ingeniería de software. Las actividades de este modelo se conforman en una espiral, en la que cada bucle o iteración representa un conjunto de actividades. Las actividades no están fijadas a ninguna prioridad, sino que las siguientes se eligen en función del análisis de riesgo, comenzando por el bucle interior (Wikipedia - Desarrollo en Espiral, 2014).

Maya: programa informático dedicado al desarrollo de gráficos 3D por computadora, efectos especiales y animación (Autodesk Maya, 2014)

Mejora continua: proceso con en la cual se pretende mejorar productos, servicios y procesos mediante la implementación de partes incrementales al proceso (Proceso de mejora continua - Wikipedia, 2014)

MySQL: sistema de gestión de bases de datos relacional, multihilo y multiusuario con más de seis millones de instalaciones (Oracle, 2014)

Photoshop: editor de gráficos rasterizados desarrollado por Adobe Systems. Usado principalmente para el retoque de fotografías y gráficos, su nombre en español significa literalmente "taller de fotos" (Adobe Photoshop, 2014)

phpMyAdmin: herramienta escrita en PHP con la intención de manejar la administración de MySQL a través de páginas web, utilizando Internet (Bringing MySql to the Web, 2003-2014).

PMBOK: Desarrollada por el Project Management Institute (PMI), la Guía del PMBOK® es el conjunto de conocimientos en Dirección/Gestión/Administración de Proyectos generalmente reconocidos como «buenas prácticas», y que se constituye como estándar de Administración de proyectos. La Guía del PMBOK® comprende dos grandes secciones, la primera sobre los procesos y contextos de un proyecto, la segunda

sobre las áreas de conocimientos específicos para la gestión de un proyecto (Project_Management_Body_of_Knowledge - Wikipedia, 2013).

Videojuego de simulación: intentan recrear situaciones de la vida real. Reproducen sensaciones que en realidad no están sucediendo. Pretenden reproducir tanto las sensaciones físicas (velocidad, aceleración, percepción del entorno) y una de sus funciones es dar una experiencia real de algo que no está sucediendo para de esta forma no poner en riesgo la vida de alguien (Videojuego de simulación - Wikipedia, 2013).

Unity 3D: Unity es un ecosistema de desarrollo de juegos: un poderoso motor de renderizado totalmente integrado con un conjunto completo de herramientas intuitivas y flujos de trabajo rápido para crear contenido 3D interactivo; publicación multiplataforma sencilla; miles de activos de calidad, listos para usar en la Tienda de Activos y una Comunidad donde se intercambian conocimientos (Unity 3D, 2014).

7 Referencias

1. Adobe Photoshop. (2014). Recuperado el 12 de 12 de 2014, de <http://www.adobe.com/la/products/photoshopfamily.html>
2. Autodesk Maya. (2014). Recuperado el 12 de 12 de 2014, de http://es.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Maya
3. Base de datos relacionales - Wikipedia. (2014). Recuperado el 12 de 12 de 2014, de <http://es.wikipedia.org/wiki/MySQL>
4. Bass, L. (2003). *Software Architecture in Practice*. Addison Wesley.
5. Bringing MySql to the Web. (2003-2014). *Bringing MySQL to the web*. Recuperado el 12 de 12 de 2014, de http://www.phpmyadmin.net/home_page/index.php
6. Centro de Perfeccionamiento Médico. (1995). *La simulación como método de enseñanza y aprendizaje*. Recuperado el 12 de 12 de 2014, de http://www.bvs.sld.cu/revistas/ems/vol9_1_95/ems03195.htm
7. Corsa Medic. (2010). *Corsa Medic*. Recuperado el 12 de 12 de 2014, de <http://paramedico111.wordpress.com/>
8. Departamento de anestesiología de la Universidad Javeriana. (2014). *Departamento de anestesiología - Universidad Javeriana*. Recuperado el 12 de 12 de 2014, de http://med.javeriana.edu.co/depto_anestesia/documentos/revision.htm
9. Devices, M. T., & Devices, M. T. (1995-2014). *Seguridad de Equipos Eléctricos*. Recuperado el 12 de 12 de 2014, de <http://www.tecnologias-sanitarias.com/electromedicina/seguridad.htm>
10. Escuela de Ingeniería Biomédica - Córdoba. (2014). *Escuela de Ingeniería Biomédica - Córdoba*. Recuperado el 12 de 12 de 2014, de http://www.efn.uncor.edu/escuelas/biomedica/Plandeestudios/materias%20comp letas/Instrumentacion%20biomedica/Material/agosto%202010/ESU_Teoria.pdf
11. FAAC Incorporated. (2014). *FAAC*. Recuperado el 12 de 12 de 2014, de <http://www.faac.com/driving.html>
12. FlightGear Flight Simulator. (2014). *FlightGear Flight Simulator*. Recuperado el 12 de 12 de 2014, de <http://www.flightgear.org/>
13. Fundamentos de la Dirección de Proyectos. (2004). Recuperado el 18 de 9 de 2014, de http://gio.uniovi.es/documentos/software/GUIA_PMBok.pdf
14. Geido, I. D. (2014). *Resonancia Magnética*. Recuperado el 12 de 12 de 2014, de <https://www.google.com.uy/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.nib.fmed.edu.uy%2Fimagedmed%2FIMAGMED%25202009%2FDiapositivas%2Fresonancia%25202009.ppt&ei=PRSNVNDUMMirNpwwgrAL&usg=AFQjCNFF0XbcaFDGcPqn2NH>

15. Normativa producción filtros HEPA/ULPA. (1999). Recuperado el 12 de 12 de 2014, de Normativa y nueva técnica de producción de filtros HEPA:
<http://www.itpshi.es/prueba/T06/02.pdf>
16. Oracle. (2014). Recuperado el 8 de 12 de 2014, de MySQL:
<http://www.mysql.com/>
17. Proceso de mejora continua - Wikipedia. (2014). Recuperado el 12 de 12 de 2014, de http://es.wikipedia.org/wiki/Proceso_de_mejora_continua
18. Project_Management_Body_of_Knowledge - Wikipedia. (2013). *Project_Management_Body_of_Knowledge*. Recuperado el 12 de 12 de 2014, de http://es.wikipedia.org/wiki/Project_Management_Body_of_Knowledge
19. Revista uruguaya de cardiología. (9 de 2009). *Ley N° 18.360. Desfibriladores externos automáticos*. Recuperado el 12 de 12 de 2014, de http://www.suc.org.uy/revista/v24n2/pdf/rcv24n2_11_Ley.pdf
20. Server Side Highscores. (2013). *Server Side Highscores*. Recuperado el 10 de 9 de 2014, de http://wiki.unity3d.com/index.php?title=Server_Side_Highscores
21. Shiley Eye Center. (2014). *Simulator Evaluates How Eye Diseases Affect Driving*. Recuperado el 12 de 12 de 2014, de <http://shileyeye.ucsd.edu/news-events/62>
22. Thevenet, I. D. (2008). http://www.nib.fmed.edu.uy/ceeibs/Clase_07.pdf. Recuperado el 12 de 12 de 2014, de http://www.nib.fmed.edu.uy/ceeibs/Clase_07.pdf
23. Trasvase de agentes químicos: Medidas básicas de seguridad. (2007). *Trasvase de agentes químicos: Medidas básicas de seguridad*. Recuperado el 12 de 7 de 2014, de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/752a783/ntp-768%20.pdf>
24. Unity 3D. (2014). *Unity 3D*. Recuperado el 12 de 12 de 2014, de <https://unity3d.com/es/unity>
25. Universidade Feevale. (s.f.). *Universidade Feevale*. Obtenido de <http://www.feevale.br/>
26. Videojuego de simulación - Wikipedia. (2013). *Wikipedia*. Recuperado el 12 de 12 de 2014, de http://es.wikipedia.org/wiki/Videojuego_de_simulaci%C3%B3n
27. Videojuego de simulación. (22 de 8 de 2014). *Wikipedia*. Recuperado el 12 de 12 de 2014, de http://es.wikipedia.org/wiki/Videojuego_de_simulaci%C3%B3n
28. Wikipedia - Benchmarking. (2014). *Wikipedia*. Recuperado el 12 de 12 de 2014, de <http://es.wikipedia.org/wiki/Benchmarking>
29. Wikipedia - Desarrollo en Espiral. (2014). Recuperado el 12 de 12 de 2014, de http://es.wikipedia.org/wiki/Desarrollo_en_espiral
30. Wikipedia AAA (Game Industry). (2014). *Wikipedia*. Recuperado el 15 de 7, de http://en.wikipedia.org/wiki/AAA_%28game_industry%29

8 Anexos

8.1 Anexo 1: Especificación de situaciones de riesgo de JUSEGU v1.1

8.2 Anexo 2: Investigación y selección del motor gráfico a utilizar

8.3 Anexo 3: Estadía en la Universidad FEEVALE, Novo Hamburgo, Brasil

8.4 Anexo 4: Documentación por videos del modelado tridimensional de la estructura del Hospital

8.4.1 Video: Estructura geométrica del Hospital

<https://www.youtube.com/watch?v=yq3L6QJfAAc>

8.4.2 Video: Una recorrida por el modelo geométrico

<https://www.youtube.com/watch?v=zZdEVYmfqeo>

8.4.3 Video: Texturado del Hospital

<https://www.youtube.com/watch?v=ZSBZHYz6-D0>

8.4.4 Video: Texturado 2 + Infraestructura

<https://www.youtube.com/watch?v=ZsJFFED2vzQ>

8.4.5 Video: Casos de uso parte 1

<https://www.youtube.com/watch?v=3iAcd9ufhYA>

8.4.6 Video: Casos de uso parte 2

<https://www.youtube.com/watch?v=Ges2pr-kwnU>

8.4.7 Video: Casos de uso parte 3

<https://www.youtube.com/watch?v=qPCgYvu5rsI>

8.4.8 Video: Casos de uso parte 4

https://www.youtube.com/watch?v=koq_eZa5eEs

8.5 Anexo 5: Planilla de horas